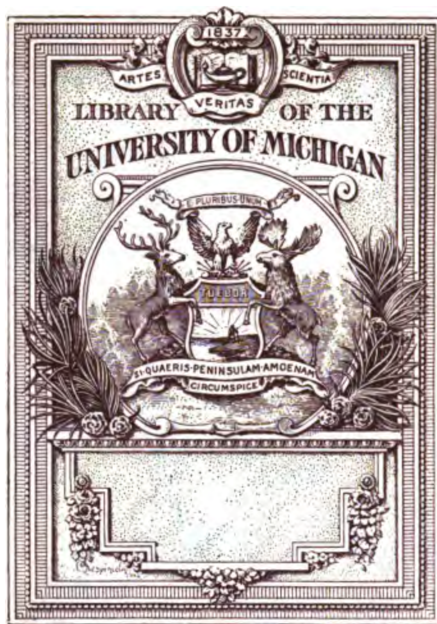
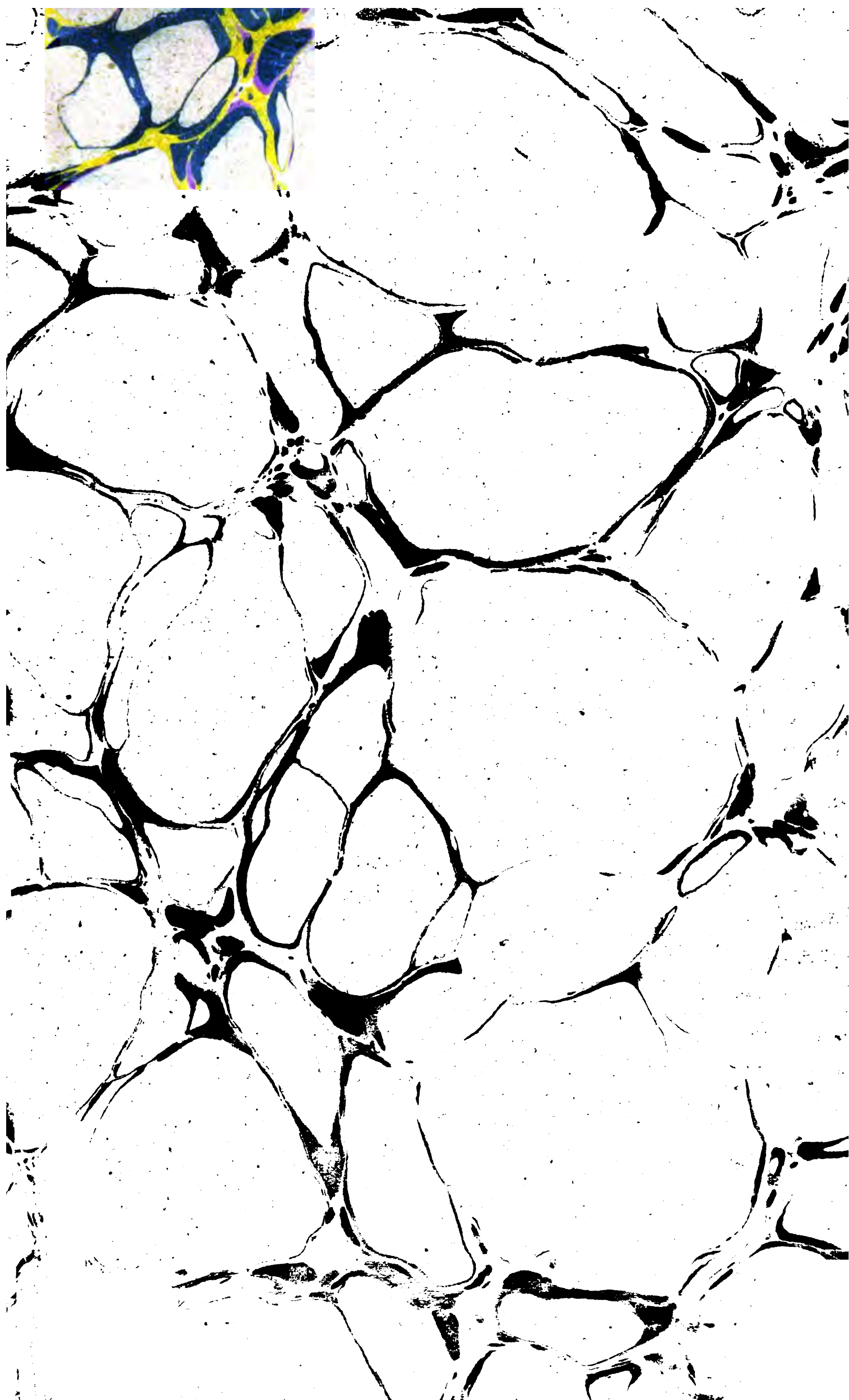

1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS.

6

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Ce, 30, rue Mazarine.

ANNALES

DU

CONSERVATOIRE

IMPÉRIAL

DES ARTS ET MÉTIERS

PUBLIÉES PAR LES PROFESSEURS

M. CH. LABOULAYE

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

TOME QUATRIÈME.

PARIS

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE

EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

15, QUAI MALAQUAIS, 15

AMSTERDAM. — Van Bakkeness.
BRUXELLES. — Lebègue et Cᵉ.
LONDRES. — Barthès et Lowell.
MADRID. — Poupart.
MOSCOU. — Gautier.
NAPLES. — Pellerano.
NEW-YORK. — Bossange et fils.
SAINT-PÉTERSBOURG. — J. Issakoff.
TURIN. — Bocca.
VARSOVIE. — Gebethner.

1863

DE LA

PRODUCTION DES ÉTOFFES A MAILLES

EN GÉNÉRAL

ET DES PRINCIPAUX PROGRÈS RÉALISÉS DANS LE TRAVAIL SPÉCIAL DE LA BONNETERIE

PAR M. ALCAN.

I

Les étoffes à mailles, considérées au point de vue de leur destination, de leurs modes d'exécution et de leur origine, forment trois spécialités importantes dans les industries textiles, dont les résultats sont désignés sous les noms de *filets*, de *tricots* et de *dentelles*. Le principal usage des premiers était réservé, dès les temps les plus reculés, à la pêche et à la chasse. Les seconds sont devenus un objet de première nécessité avec les progrès de la civilisation et le développemont du bien-être dans les classes les plus nombreuses. Les dernières, qui sont en quelque sorte les fleurs de l'art vestimentaire, participent de leur élégance, et sont comme elles un ornement presque indispensable pour les sociétés modernes, malgré ou plutôt à cause de leur emploi spécial. La solidité toute particulière que doivent présenter les mailles des engins de pêche et de chasse a dû faire rechercher les matériaux les plus résistants par leur nature, et les moyens d'entrelacements les moins susceptibles de se défaire ou de se déformer. Les nœuds qui fixent les réseaux du filet réalisent parfaitement cette condition. Ils ont été exécutés de tout temps de telle façon, qu'au lieu de se relâcher à l'emploi ils se resserrent et se consolident de plus en plus.

Les vêtements tricotés, dont l'objet est d'embrasser étroitement les formes et les parties du corps auxquelles ils sont destinés, sont obtenus au contraire par la formation successive d'une série de

nœuds coulants au moyen du rebouclement autour de lui-même d'un fil sans tension sensible d'une longueur indéfinie. Les mailles qui en résultent sont par conséquent plus ou moins extensibles et particulièrement propres à leur destination.

La dentelle, aussi difficile à analyser que la grâce et le goût, a cependant quelques signes fondamentaux qui la distinguent des autres étoffes à mailles. Elle se caractérise en général par divers modes spéciaux d'entrelacements; la finesse extrême des fils; la délicatesse et la variété de son tissu. Elle réunit au plus haut degré la légèreté à la solidité. Elle allie avec un grand art les contrastes les plus harmonieux. Les vides du toilé le plus diaphane, destinés à laisser voir les couleurs et la lumière, sont circonscrits par des contours en relief si habilement et si ingénieusement tressés, qu'ils rappellent spontanément les chefs-d'œuvre de la ciselure la plus renommée. Malgré le rôle étendu que joue le caprice dans l'ornementation de la dentelle, chacune de ses nombreuses variétés repose sur des règles fondamentales d'exécution qui servent à les caractériser. La *bisette*, la *gueuse*, la *mignonette*, la *campanne* formaient une série de dentelles primitives en fil de lin pur plus ou moins fin. La *guipure*, au contraire, était mélangée originairement de soie, d'or et d'argent qui lui donnaient un éclat particulier. Les *points de Venise*, de *Gênes*, d'*Angleterre*, de *Bruxelles*, au lieu d'offrir une série de mailles, sont obtenus par un entrelacement imperceptible à l'aiguille, qui forme le travail façonné destiné parfois à être rapporté à son tour sur un réseau. De là le nom d'*application* donné à certaines d'entre elles.

Ce qui précède peut expliquer les causes de l'ancienneté du filet et l'origine relativement récente de la confection du tricot et de la dentelle. La nécessité la plus impérieuse a donné naissance au premier chez les nations civilisées de l'antiquité et chez les peuplades sauvages les plus étrangères aux arts. Des figures, retrouvées dans des ruines, démontrent que les Égyptiens s'en servaient. Hérodote en parle dans plusieurs passages de ses écrits dans des termes qui indiquent un objet connu. Xénophon en décrit la fabrication dans son Traité sur la chasse. Les Romains en formaient des clôtures pour protéger les spectateurs des cirques contre les animaux qui combattaient dans les arènes. Coke constate son usage et sa fabrication chez les naturels

d'Otaïti, dénués cependant de toute autre notion sur le tissage en général.

L'origine de l'emploi et de l'exécution du tricot et de la dentelle est peu fixée. La première trace de ces produits en Europe ne remonte pas au delà du quinzième siècle. Le comte Arundel fit hommage à la reine Élisabeth de la première paire de bas qu'on ait encore vue en Angleterre. La France, sous ce rapport, paraît avoir la priorité, s'il est vrai que les premiers bas de soie tricotés furent portés par Henri II au mariage de sa sœur.

Si l'on s'en rapporte aux traditions récentes, ce serait vers la fin du quinzième siècle ou au commencement du seizième que l'on commença à tricoter des bas. En Espagne et dans les Flandres d'abord, puis en Italie, en Écosse et en France. Ce travail des étoffes à mailles paraît par conséquent avoir eu la même origine que la plupart des industries textiles de luxe, et devoir venir des peuples orientaux, à la civilisation desquels les Espagnols ont été plus particulièrement initiés par le séjour des Maures. Quoi qu'il en soit, on trouve les expressions de mailles et d'aiguilles à tricoter dans des ordonnances de 1574 sur la pêche. La dentelle était également bien connue dès lors, elle payait un droit d'entrée et de sortie à la douane. Un édit somptuaire de 1629, qui défendit son usage pour diminuer l'exportation du numéraire payé pour cet article à l'Italie, prouve d'ailleurs l'extension rapide de cet objet de luxe en France. Il était recherché alors, non-seulement comme aujourd'hui exclusivement par les femmes, mais également pour certaines parties de la toilette des hommes de la noblesse et du haut clergé. Ces destinations développèrent particulièrement le travail de la dentelle chez nous, qui, depuis la Renaissance jusqu'à ce jour, conserva une grande réputation et une supériorité marquée dans certaines spécialités. Ce qui prouve également l'importance de ce travail intéressant à plus d'un titre, c'est la nombreuse population de femmes qu'il alimente. M. Félix Aubry, si compétent en pareille matière, estime à près de 250,000 le nombre d'ouvrières en dentelles dans les 18 à 20 départements de la France où cette industrie transforme pour une valeur d'environ 70 millions de francs par an. La main-d'œuvre entre dans ces produits pour les neuf dixièmes du prix total. Notre pays fabrique à lui seul à peu près autant de dentelles à la main que le reste de l'Europe

réuni, avec un outillage des plus simples qui s'élève à peine à 5 fr. pour chaque dentelière. Pour avoir une idée complète de l'importance de l'industrie des dentelles en général, il faut ajouter les imitations ou tulles unis et façonnés. Plus de 2,000 métiers sont employés à ce travail, avec leurs moteurs et accessoires ils valent plus de 60 millions, et transforment annuellement pour plus de 70 millions de produits.

L'ensemble de la production dentelière en France s'élèverait donc à 140 millions par an, d'après les renseignements statistiques établis sur le personnel en activité d'une part, et l'emploi du nombre de machines de l'autre. La quantité de dentelles exportée n'atteint pas 3 millions et demi par an, et celle achetée au dehors est moindre encore; le mouvement d'affaires de ce chef a par conséquent lieu presque exclusivement à l'intérieur du pays.

La bonneterie, devenue un objet de première nécessité de nos jours, est néanmoins loin d'atteindre un chiffre de vente aussi élevé que celui atteint pour les dentelles de toute espèce.

D'après M. Taillbouis, fabricant de bonneterie et membre de la commission des valeurs pour cette spécialité, l'ensemble de la production annuelle de la bonneterie s'élèverait à 70 millions de francs environ, dans lesquels les produits

en coton	forment	55	pour 100;
en laine	—	35	—
en soie	—	9	—
en lin	—	1	—

Sur les 70 millions de produits qui sont presque entièrement consommés en France, c'est à peine si l'exportation s'élève à 7 millions par an, non compris, il est vrai, l'article en filets de soie pour mitaines et bourses dont l'exportation de ces dernières années a atteint 4 millions environ. Mais c'est là un article essentiellement de circonstance dont la vogue et le débouché sont par conséquent très-variables.

Si l'on compare ces chiffres officiels relatifs à la bonneterie à ceux concernant la dentelle, on remarque que la dépense pour la consommation d'objets, dont on pourrait se passer à la rigueur sans inconvénient pour la santé et sans que la décence en souffre, dépasse de beaucoup celle faite pour des vêtements de première

nécessité, tels que bas, caleçons, gilets, jupons, etc. Elle s'élève à peine pour ces derniers articles à 2 fr. par an et par individu, tandis que le budget annuel des dentelles et des tulles atteint 4 fr. par *tête*. Cette différence en faveur du budget du luxe devient plus sensible encore par la remarque que la dépense la plus forte est occasionnée pour des tissus dont le remplacement est bien moins nécessaire que celui des tricots. Les dentelles, par leur solidité et le peu de fatigue qu'elles supportent, si on en excepte les voiles, voilettes et cols, durent des générations. La bonneterie exige au contraire un remplacement fréquent. Il est vrai que le chiffre de la consommation de cette dernière s'élèverait par individu, si aux produits manufacturés dont nous nous occupons seulement ici, nous pouvions ajouter la valeur des tricots, bas, jupons, couvertures faits dans l'intérieur des maisons par les *ménagères* des villes et surtout des campagnes.

Cet état de choses, comme celui de la plupart des faits analogues, se modifie chaque jour; la valeur de la main-d'œuvre devient plus rare et s'élève pendant que les progrès de l'industrie diminuent au contraire les prix de revient du travail automatique, à tel point que l'on peut arriver à fabriquer certaines catégories de bonneterie très-commune à 1 fr. 25 c. la douzaine de paires de chaussettes, et à 2 fr. la même quantité de bas. Seulement il est convenable de faire remarquer que ces vêtements ne sont que des fourreaux cylindriques dont les formes passagères, plus apparentes que réelles, au lieu d'être obtenues par l'exécution des mailles, sont le résultat d'un apprêt que la tension et les lessivages font bientôt disparaître. Ce progrès est donc lui-même plus apparent que réel, surtout eu égard aux exigences de la consommation française, si difficile et si délicate en pareille matière. Il sera peu aisé de lui faire adopter un article aussi peu soigné et où le goût aura si largement sacrifié à l'économie, surtout si l'article s'adresse aux femmes. Aussi, le progrès réel dans la bonneterie est-il bien plutôt dans les métiers qui concilient les deux exigences, l'économie et la perfection, et par conséquent dans la propagation des métiers droits automatiques, à faire simultanément plusieurs pièces avec toute la précision que pourrait y mettre la plus habile tricoteuse : c'est là où est sans contredit l'avenir de la bonneterie française; aussi reviendrons-nous plus loin sur cette invention intéressante sous plusieurs rapports.

Mais avant d'entrer dans les détails techniques de la fabrication des tricots, il est juste de dire que la production des filets, des tulles et des dentelles a été l'objet de transformations non moins remarquables. L'on peut en juger par les résultats. L'exécution mécanique *self acting* de l'entrelacement à nœuds qui forme le filet, à laquelle on n'aurait osé songer avant l'ère de l'industrie automatique, a toujours été considérée depuis lors jusques il y a une vingtaine d'années, comme un problème presque aussi difficile à résoudre que celui de la direction des aérostats. Il est cependant pratiquement réalisé à l'heure qu'il est. Un paysan d'un bourg de Normandie, Buron, du Bourg-Theroude, qui ne savait pas lire, et Jacquard lui-même, se sont occupés, à peu près à la même époque, chacun de leur côté, de ce difficile problème. Le modèle de Buron existe dans les galeries du Conservatoire, il témoigne de l'œuvre d'un homme particulièrement bien doué, et présente des organes et une disposition générale qu'on retrouve dans la belle machine inventée par Peckeur en 1849 et couronnée depuis par la Société d'encouragement. Quoique les divers systèmes en usage donnent commercialement des produits plus avantageux, la machine Peckeur n'en restera pas moins comme la première solution pratique de la question, et l'un des jalons le plus avancé du domaine qui comprend les diverses substitutions de la fabrication automatique au travail à la main.

Cependant, au point de vue de leur exploitation industrielle, l'application des machines à faire le filet se borne à la production accessoire de quelques objets de toilette sur les métiers Peckeur réduits, et à l'emploi d'un nombre restreint de grandes machines pour la fabrication des engins de pêche. Le peu de développement de cette industrie automatique est la conséquence de causes que nous n'avons pas à étudier pour le moment.

La remarquable invention des métiers à faire le tulle uni d'abord, ou imitation des réseaux du fond de la dentelle, puis les nombreuses variétés de ces métiers avec l'ingénieuse adaptation du mécanisme Jacquard pour copier en apparence toutes les *particularités* façonnées des dentelles, se sont au contraire propagées avec une rapidité sans exemple, et se sont fait adopter aussi bien dans les transformations de la laine et de la soie que pour celles du coton et du lin.

Malgré les essais et les tâtonnements antérieurs, cette grande industrie des tulles bobins, produits aux métiers automatiques, ne date réellement que de cinquante ans environ. Depuis lors, elle a marché à pas de géant. Les progrès ont été tels, que la production d'un seul métier a augmenté de 1 à 30, c'est-à-dire que sur les premiers métiers fonctionnant de 1808 à 1810, on produisait à peine mille mailles à la minute, et qu'on en produit aujourd'hui 30,000 dans le même temps. Dans l'origine, on se bornait à faire des bandes étroites comme celles des festons, tandis qu'aujourd'hui les métiers fournissent en général des pièces de quatre mètres de largeur. Ce n'est que péniblement avec des mouvements excessivement compliqués et multipliés que l'on réalisait le tulle à mailles unies ; aujourd'hui les effets façonnés aussi remarquables en apparence que ceux de la dentelle la plus précieuse, s'obtiennent bien plus simplement et surtout plus rapidement que les réseaux élémentaires du produit d'alors.

La diminution progressive du prix du tulle, citée comme l'un des faits les plus propres à mettre en évidence l'influence de perfectionnements successifs, démontre en effet le chemin parcouru par l'industrie tullière en moins d'un demi-siècle. Le yard carré de tulle ($0^{m},830$), qui vaut aujourd'hui à peine 0 fr. 30, se vendait 125 fr. en 1810, 15 fr. en 1820, 2 fr. 50 en 1830, 0 fr. 60 en 1840, et ne coûtait plus que 0 fr. 40 c. en 1850. L'on pourrait également démontrer par des chiffres que le développement de la production a suivi la loi ordinaire qui se manifeste dans les circonstances analogues ; la consommation a augmenté en raison de la diminution des prix de revient des produits.

Caractères distinctifs des tulles et des dentelles.

Au point de vue des caractères constitutifs sinon des apparences, il y a une différence sensible entre les tulles façonnés, même les plus parfaits et les plus riches, et les dentelles. Les réseaux les plus simples de ces dernières sont obtenus par des contours de tresses composées chacune d'un plus ou moins grand nombre de fils tordus. Ils le sont 2 à 2 ou 4 à 4, suivant le genre de dentelle. L'enchevêtrement des fils d'une maille avec les fils des mailles voisines est également déterminé par une torsion

entre les fils de rencontre de ces mailles. La figure 1, planche XVI, indique les relations et révolutions des fils d'un réseau grossi d'une dentelle unie. Il suffit de suivre chacun des fils *a, b, c,* dans sa course pour s'assurer que le mode d'enchevêtrement est tel que les mailles sont solidement arrêtées, sans glissement possible, que leurs contours tordus offrent une résistance relativement considérable; ce sont ces caractères fondamentaux qui donnent la durée à la dentelle et lui permettent de résister au temps et aux lessivages. Ce réseau fondamental, représenté dans la figure 1, peut varier d'apparence suivant que les tresses seront formées de 2 ou de 4 fils, et suivant l'ordre de la réunion des fils dans leurs entrelacements. On peut, dans les tresses de 2 fils, obtenir l'enchevêtrement des mailles par le tors des deux fils du milieu 1 à 1, ou des deux extrêmes 2 à 2, ou ceux du milieu 2 à 2, et faire passer alternativement deux fils de gauche à droite, puis de droite à gauche.

Dans les tresses à 4 fils, le nombre des combinaisons de ce genre peut augmenter encore en raison de l'augmentation du nombre des éléments.

Le point où les fils de deux mailles consécutives s'entrelacent ordinairement autour d'une épingle comme point d'appui, est désigné sous le nom de *picot*. Le remplissage uni et diaphane du fond des mailles, formé par un entrelacement simple dont la finesse rappelle les fils de la Vierge, constitue le *toilé*. C'est en effet une véritable toile aérienne. Le *talon* est, par rapport à la dentelle, ce que les lisières sont aux étoffes ordinaires; il est formé par le croisement régulier de deux fils de fond autour des fils des rives ou lisières. Enfin, *les fils d'entourage* forment en quelque sorte une espèce de cadre qui circonscrit les *motifs* façonnés ou *mat* des dessins exécutés dans le réseau.

Chacune des nombreuses variétés qui constituent le domaine de l'industrie dentellière, se caractérise par quelques modifications dans l'une ou plusieurs des parties fondamentales que nous venons de désigner.

L'on retrouve bien dans les dentelles à la mécanique ou tulles l'imitation des divers éléments qui constituent les dentelles; mais le mode d'entrelacement fondamental est loin d'offrir les mêmes caractères dans les deux produits; il est bien autrement solide pour la dentelle que pour le tulle. La figure 2 le prouve;

elle donne le réseau grossi des tulles les plus compliqués et les plus parfaits dans leur exécution. Les contours d'une maille sont formés par deux fils dont l'un tourne autour de l'autre, qui change de direction à intervalles égaux pour déterminer la forme des vides. Ceux-ci se fixent plutôt par des ligatures régulières que par des enchevêtrements croisés et tordus. Un tulle, quelque compliqués que soient les entrelacements de ses fils, est toujours *défilable* d'une manière continue, au moins sur une étendue relativement considérable de ses dessins. On ne peut, au contraire, décomposer la dentelle mécaniquement, qu'en la disséquant par très-petits fragments. La comparaison des deux figures 1 et 2 donne facilement la raison de cette différence de solidité, et suffit, ce nous semble, pour faire saisir les conditions spéciales et fondamentales à remplir dans le travail de la dentelle proprement dite, et les difficultés que présente la solution du problème mécanique. Elles sont telles que les hommes les plus compétents les croyaient insurmontables, et cependant il existe depuis quelque temps un métier à Paris, résultat des recherches et des efforts de deux générations d'une même famille, qui fabrique de la valenciennes avec une telle perfection, que les plus grands connaisseurs ne peuvent la distinguer de celle faite à la main. La machine est entièrement automatique, tout aussi automatique qu'une scierie, par exemple. Il suffit de la mettre en rapport avec un moteur quelconque, pour qu'elle exécute spontanément et simultanément un nombre plus ou moins grand de bandes, qui n'est limité que par la longueur du métier. Le produit s'exécute encore jusqu'ici par rubans assez étroits, et rappelle, sous ce rapport, les premiers tulles. Prendra-t-il le développement si rapidement atteint par la fabrication de ce dernier? C'est là une question difficile à résoudre *à priori*.

Il y a entre ce métier automatique à dentelle et les métiers à tulles les plus perfectionnés une filiation analogue à celle que l'on peut établir entre les premières machines à tulles de chaînes et les métiers à faire les tricots. Il est donc rationnel de passer d'abord en revue les perfectionnements apportés à ces derniers, et les progrès réalisés dans la fabrication de la bonneterie en général. Une visite que nous avons récemment faite dans les établissements les plus remarquables de ce genre, et notamment à

l'usine de Saint-Juste, créée par M. Tailbouis, nous a permis de voir fonctionner et de comparer entre eux les systèmes les plus remarquables et les plus nouveaux.

II

Métiers à tricots.

La conception et l'exécution du premier métier à faire les tricots et principalement les bas est presque aussi ancienne que le travail du tricot à la main en Europe. La tradition, *toujours la tradition*, l'attribue au révérend William Lee, curé dans le comté de Nottingham. Il aurait complété son invention en 1589, et serait mort découragé et délaissé en 1610, sans avoir vu appliquer sa découverte. Les Anglais ont fait depuis un magnifique tableau représentant l'inventeur en méditation près de sa fiancée confectionnant un tricot. Quoi qu'il en soit de l'origine de cette admirable machine, il paraît hors de doute que le premier métier à faire les bas connu en France remonte à 1656. Ce qu'il y a de remarquable, c'est qu'il en a été de l'invention fondamentale de ce métier comme de plusieurs autres inventions importantes, on a perfectionné certains détails de ses organes et de ses transmissions; l'on y a apporté des additions pour étendre ses moyens d'action, modifier et perfectionner ses résultats; mais les organes primitifs, leur disposition générale, leur fonctionnement sont restés, à très-peu de chose près, ce qu'ils paraissent avoir été à l'origine de son emploi. Il y a plus, presque toutes les espèces et variétés de tricots exécutés aujourd'hui l'étaient déjà à l'origine de l'emploi du métier à faire les bas. Les rares écrits technologiques publiés antérieurement à la Révolution de 1789, et notamment l'*Encyclopédie* de Diderot et d'Alembert, mentionnent un certain nombre de ces variétés. Le *tricot sans envers*, le *tricot double*, à *mailles nouées*, les *tricots dentelles*, *guillochés*, *brochés* à *côtes de melon*, *peluchés*, *chinés*, à *mailles coulées*, etc. La désignation de ces variétés démontre que dans cette spécialité des industries textiles, comme dans plusieurs autres, les procédés pour varier les résultats étaient presque aussi avancés que ceux en usage actuellement. Les progrès considérables réalisés depuis ont principalement modifié les moyens mécaniques

Toutes les matières filamenteuses étaient également indistinctement employées alors, mais dans des rapports bien différents de ceux déterminés précédemment pour la consommation actuelle.

L'ensemble de la production de la bonneterie était presque aussi considérable vers la fin du siècle dernier qu'aujourd'hui. Rolland de la Platière l'évaluait à 60,000,000 livres en 1785, dont 28 à 30,000,000 pour la bonneterie de soie, les autres espèces réunies formaient par conséquent la seconde moitié de ce chiffre. C'est-à-dire qu'avant la grande révolution, les bas et autres objets de tricot de soie qui atteignent 9 pour 100 aujourd'hui dans la production totale de la bonneterie, s'élevaient à 50 pour 100. Cette décroissance est plus sensible encore si on la compare à l'augmentation considérable de la population depuis les 74 ans qui nous séparent de cette révolution. Pendant que la production de la bonneterie en soie s'abaisse, celle du coton s'élève plus que proportionnellement; de un cinquième, elle est arrivée à la moitié. L'ancien bonnet, qui constituait presque exclusivement la spécialité, disparaît tous les jours; on lui reproche d'être une coiffure antihygiénique et surtout de manquer de goût, aussi n'entre-t-il aujourd'hui que pour une proportion insignifiante dans la production totale des tricots de coton.

Les modifications commerciales qui se sont réalisées dans les rapports entre les divers produits de la bonneterie, tiennent en même temps aux changements sociaux amenés par la révolution et aux progrès techniques. Le régime démocratique a, d'une part, considérablement augmenté le nombre des consommateurs de la bonneterie de coton ; d'un autre côté la perfection et l'élégance apportées à ces produits les font souvent préférer à la soie pour les toilettes les plus riches, même de la clientèle la plus élégante, qui n'existait autrefois presque que dans la classe noble.

Déjà, au dix-septième siècle, on produisait dans le Levant des bas de coton qui, pour leur beauté, étaient plus estimés que les plus beaux bas de soie; mais ils revenaient alors à 10, 12 et 15 écus la paire[1]. Aussi ce prix élevé les fit-il reléguer parmi les objets de

1. *Dictionnaire du commerce,* par J. Savary des Brulons. Paris, 1748.

curiosité. Les mêmes produits en bonneterie dite de Paris, confectionnés en fil d'Écosse, c'est-à-dire en fil de coton doublé et retordu d'une finesse plus ou moins élevée, avec du n° 200 par exemple avant le retordage, ne coûtent que 4 francs la paire aujourd'hui et sont en général préférés au bas de soie d'un prix au moins double, attendu que les premiers chaussent plus élégamment, conservent leur blancheur pendant toute leur durée; les lessivages, au lieu de les jaunir comme cela arrive pour la soie, les blanchissent de plus en plus.

La bonneterie française rencontre une concurrence considérable sur les marchés étrangers. Les exportations de l'Angleterre sont décuples des nôtres; vient ensuite la Saxe, dont le commerce de la bonneterie est le plus important après celui du Royaume-Uni. Les prix fabuleusement bas auxquels l'industrie française est arrivée depuis peu pour les produits très-communs avaient été atteints antérieurement par ses concurrents de l'étranger, cette circonstance jointe à la qualité de la matière première employée par les bonnetiers anglais et saxons, et à la bonne confection du tissu, explique la préférence donnée à l'étranger aux produits ordinaires de ces contrées; mais lorsque les articles sont de prix assez élevés pour que le consommateur puisse avoir une certaine exigence sous le rapport de la forme, de la souplesse, de l'apprêt, de l'élégance et même de la durée, la préférence est généralement accordée à la bonneterie française, plus soignée dans ces divers éléments. Notre industrie est vraiment sans rivale sous le rapport de la perfection qu'elle apporte à divers articles renommés de la bonneterie, et entre autres aux bas dits en fil d'Écosse, ou fil doublé et retordu. Paris et Nîmes sont à la tête de cette production pour le fini et les soins, dont les autres siéges principaux sont dans les départements de l'Aube, de l'Oise, du Calvados, etc.

Le Midi, et encore Nîmes en tête, puis Saint-Jean-du-Gard, Romans, Le Vigan, Uzès, Montpellier, Ganges, anciens centres de la production des articles de soie, se partagent cette fabrication réduite.

La bonneterie de laine, qui prospère et grandit sensiblement, est presque complétement exécutée dans les départements du Nord et de l'Est; elle est divisée dans une soixantaine de communes de la Somme, de l'Aube, du Pas-de-Calais, du Calvados,

de l'Eure, de la Marne, de Seine-et-Marne, de Loire, du Loiret, du Bas-Rhin et dans un petit nombre de départements du Midi.

Le peu de bonneterie de fil qui se fabrique en France a son siége principal à Hesdin, dans le Pas-de-Calais; l'Angleterre n'en produit pas beaucoup plus que nous, c'est la Saxe qui semble avoir le plus d'importance dans cette spécialité.

III

Exposé des moyens et des perfectionnements techniques.

L'ancien métier à bas étant la base et le point de départ de tous les progrès réalisés depuis, il est nécessaire de rappeler en quelques mots les principes sur lesquels il repose.

Une série d'aiguilles d'une forme particulière A (*fig.* 3), placées dans une même rangée horizontale, les unes à côté des autres,

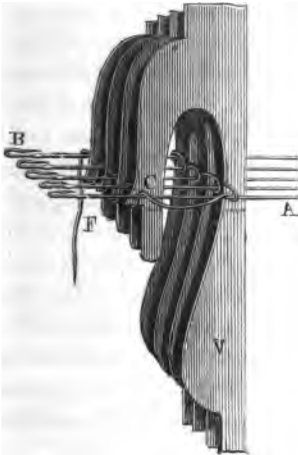


Fig. 3.

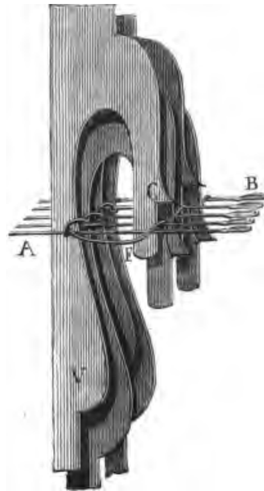


Fig. 4.

à égales distances entre elles, sont les organes fondamentaux de tout métier à tricoter[1]. Ces aiguilles sont encastrées à l'une de

1. Les mêmes lettres désignent les mêmes organes dans toutes les figures, on les a disposés en perspective pour mieux faire saisir l'ensemble de leur rapport.

leurs extrémités parallèlement entre elles dans une pièce rigide, leur extrémité opposée se termine par une partie B fine, flexible et recourbée. Une pression assez faible suffit pour fermer la courbe B; la pointe de cette partie entre alors dans une petite cavité nommée *chas* pratiqué dans la tige de l'aiguille. La *fig.* 4 indique les courbes ou becs, fermés. Entre chacune de ces aiguilles est disposée une pièce ou lame d'une forme particulière, remarquable surtout par un bec à angle droit C, et une courbure convexe ou *ventre* V disposée au-dessous. Ces lames, désignées sous le nom de *platines*, peuvent prendre un double mouvement, l'un de translation verticale et l'autre de translation horizontal parallèlement à elles-mêmes, par des moyens mécaniques variables dont nous n'avons pas à nous occuper pour le moment. Indiquons d'abord leurs fonctions : le fil à tricoter F, d'une substance quelconque, est étalé sans tension, suivant une ligne droite sur la rangée horizontale des aiguilles de manière à faire un angle droit avec leur direction. Un mouvement de translation vertical des platines appuie successivement les becs C sur le fil F, *fig.* 3, le force par conséquent à entrer dans les espaces vides qui séparent les aiguilles dont l'ensemble se nomme la *fonture* du métier. Cette transformation du fil droit en une espèce de feston constitue le *cueillage*, *fig.* 4 et S. L'entrelacement de deux courses successives de fil cueilli forme une rangée de mailles. Pour opérer cet entrelacement, il faut qu'en arrière du feston formé dans la direction opposée à celle des becs des aiguilles, se trouve déjà une ligne du même fil préalablement cueillie, comme la précédente, et reculée de façon à occuper la position que nous venons d'indiquer, et que ce feston s'avance et se dégage par-dessus les becs fermés des aiguilles. L'avancement, dit également *amenage*, a lieu par un mouvement de translation horizontal des platines et l'action de la partie V sur le fil, *fig.* 5. La fermeture des becs s'obtient par l'abaissement d'une règle ou presse sur les courbes B (les figures ne représentent pas la presse), et le dégagement du feston par-dessus les becs fermés nommé par cette raison *abatage*, *fig.* 6, se produit par une continuation d'action horizontale de la part du jeu de platines[1].

1. Ces indications n'ont pour but que de résumer les principes sur lesquels reposent la confection de toutes espèces de tricots. (Voir, pour les détails du mé-

L'on remarquera que la rangée de mailles primitivement formée a passé par-dessus les becs, tandis que la nouvelle y est encore

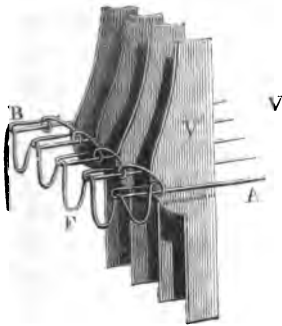


Fig. 5.

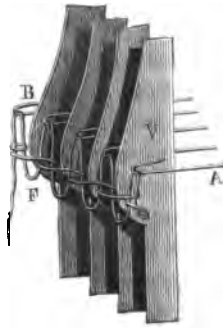


Fig. 6.

engagée. Il en résulte que le même fil a été alternativement bouclé autour de chacune de ces aiguilles fixes comme autour de celles du tricotage à la main. Après l'exécution de ces différents mouvements, nécessaires à la formation d'une rangée de mailles, l'on fait reprendre aux organes leurs positions primitives, par une action simultanée désignée sous le nom de *crochetage*, *fig.* 7. L'intervention d'un crochet spécial ou espèce de levier courbe qui agissait de proche en proche sur des transmissions intermédiaires des plus anciens métiers, explique le sens de cette opération, dont le but est de rendre à chacun des organes sa position initiale.

L'étoffe à mailles qui résulte de la manière d'opérer que nous venons d'examiner, est la plus simple de toutes ; elle est représentée à l'endroit sur une échelle agrandie *fig.* 3, planche XVI, et sur la face opposée, ou envers, *fig.* 4. La différence de ces deux faces est la conséquence de la révolution du fil dans ses rebouclements. Les points, recouverts d'un côté, sont nécessairement apparents de l'autre. Elle est le type élémentaire des tissus réticulaires comme la toile est le type le plus simple des étoffes à fils tendus et serrés. Quant à ce qu'on nomme la *façon*, ou détermination des formes du vêtement, du mollet, du bas de la jambe

canisme, l'*Essai sur l'industrie des matières textiles*, chez Lacroix éditeur, 15, quai Malaquais.)

et de la pointe du pied, pour les bas, par exemple, elle s'obtient par des élargissements et des rétrécissements progressifs convenablement combinés par l'augmentation ou la diminution d'une boucle de chaque côté du tricot, au point où il doit être élargi ou diminué. Le nombre de rangées qui doit subir ces additions ou soustractions dépendra évidemment du volume du vêtement. Les pièces planes, ainsi disposées à la sortie du métier, il n'y a plus qu'à les assembler en joignant les bords ou lisières par une espèce d'entrelacement ou de *remaillage*. La description des différentes manières d'opérer la *façon* et les détails de leur exécution, nous forceraient de sortir du cadre que nous nous sommes tracé et d'entrer dans des développements qui ne peuvent guère trouver leur place que dans un traité spécial.

Modifications dans la formation des mailles pour obtenir diverses espèces de tricots.

Nous devons seulement faire remarquer que l'on peut faire varier les apparences d'un tricot et ses propriétés d'extension dans un sens ou dans l'autre, en modifiant le *mode de rebouclement*. Lorsqu'il est opéré d'une manière régulièrement suivie, de façon à ce que le cueillage produise des festons ou des boucles alternativement en sens inverse, on obtient les réseaux des figures 3 et 4, pl. XVI, dans lesquelles les points des superpositions du fil sont équidistants, et leurs recouvrements ou rencontres, qui déterminent les boucles, placés d'une façon identique pour les points correspondants de chaque rangée. Le réseau de la fig. 5, pl. XVI, représente un entrelacement modifié qui mérite d'être signalé à cause de ses propriétés spéciales et des nombreuses applications auxquelles il est propre. Il suffit de suivre les entre-croisements du fil d'une rangée de mailles pour se rendre compte du caractère particulier qui en résulte. Si l'on classe les boucles ou mailles de chaque rangée en paires et impaires en allant de gauche à droite, par exemple, on remarquera que chacune des mailles paires de la fig. 5 est formée par le passage alternatif au-dessus et au-dessous du fil de sa voisine aux points *a* et *b*, et qu'il n'en est pas ainsi aux points correspondants *a* et *b* des fig. 3 et 4, tandis que les mailles impaires restent les mêmes dans les trois figures. Il résulte de ces constructions des tricots, que la

propriété élastique et l'extensibilité des produits exécutés d'après le système des fig. 3 et 4, est la même dans tous les sens, longitudinalement et transversalement. Celle des articles obtenus d'après le système des fig. 5 et 6, est modifiée en ce sens, que les mailles ordinaires, les mailles paires seulement, cèdent dans toutes les directions, et que les mailles impaires s'étendent longitudinalement, mais à peine, dans la direction transversale. Si, en effet, on exerce une traction opposée suivant les flèches, les rangées de mailles paires étant entrelacées en sens opposé, les actions s'équilibrent et la résultante sensible est presque nulle. Ces mailles, considérées dans le sens vertical, offrent en quelque sorte des membrures solides et une série de points d'appuis entre lesquels l'extensibilité transversale peut facilement se produire par un effort quelconque; et lorsque celui-ci cesse, le réseau reprend naturellement ses dimensions primitives. Ce genre de tricot, connu sous le nom de *tricot à côtes* depuis que la bonneterie existe, constitue un véritable tissu à ressorts. L'on fait parfois des bas et autres vêtements complétement à côtes. Mais la plus grande application de ce tissu consiste dans son emploi comme *bords*, c'est-à-dire, pour terminer l'entrée des bas, l'extrémité des manches, le bas des caleçons, etc. Les parties principales de ces vêtements sont en tricot ordinaire, celle à côtes d'un moindre diamètre est assemblée à la première par un remaillage fait au métier; de là le nom de *bord-côtes*. C'est l'addition de ces bords-côtes qui rend toutes espèces de jarretières, de boutons et de rubans inutiles. L'élasticité des bords en tient lieu plus efficacement.

Disons un mot des moyens par lesquels ce genre d'étoffe s'exécute. On y arrivait autrefois par un mécanisme additionnel au métier ordinaire que l'on appelait le *petit métier*, dont la description est donnée dans l'Encyclopédie. On emploie généralement aujourd'hui le métier à deux jeux d'aiguilles ou double *fonture*. L'une de ces rangées d'aiguilles est disposée horizontalement comme à l'ordinaire, et peut prendre un mouvement de va-et-vient parallèlement à elle-même. L'autre fonture est verticale, chacune des aiguilles de celle-ci correspond à l'intervalle entre les aiguilles horizontales. Les deux fontures ont chacune une presse spéciale. Mais il n'y a qu'une rangée de platines verticales comme dans le métier ordinaire, seulement la course est double

de façon à ce que le cueillage forme des boucles d'un développement suffisant aux deux rangées. La fonture horizontale, retirée en arrière lors du cueillage, s'avance pour prendre la moitié de la hauteur des boucles résultant de l'abaissement des platines sur le fil lorsque ces aiguilles se sont *approvisionnées* de leurs mailles respectives en s'engageant par leurs extrémités dans les festons, elles reviennent sur elles-mêmes d'une certaine quantité, reçoivent alors l'action de leur presse respective qui ferme les becs. La fonture verticale prend à son tour l'autre moitié des boucles du feston. Sa presse agit alors, puis les deux demi-rangées d'une course de mailles viennent se réunir au formage et à l'abatage, qui ont lieu comme dans le travail ordinaire. Il en résulte une rangée formée de mailles qui sont alternativement en saillie et en creux. L'article est sans envers, en ce sens que la partie en relief de l'une des faces est en creux de l'autre, et *vice versâ*.

Nous ne donnons pas ici les figures des mécanismes pour exécuter ces tricots, parce que nous aurons à les reproduire d'une façon identique pour les métiers circulaires dont nous parlerons plus loin.

C'est en général par des modifications d'entrelacements analogues à celles du tricot à côtes que l'on produit diverses autres espèces. La figure 6 donne les entrelacements produisant des mailles dont les parties superposées changent alternativement dans les rangées horizontales qui se suivent; les boucles correspondantes *a*, *b*, dans deux rangées successives, passent alternativement devant et derrière un plan vertical supposé dans le milieu de l'épaisseur du tissu. Ce genre de combinaison de mailles est spécialement employé à la confection des ceintures, jarretières, manchettes, etc. Les fig. 7 et 8 pl. XVI donnent d'autres modifications d'entrelacements. La direction du fil varie d'une maille à la suivante, dans les deux sens. L'inspection du dessin, aidée de ce que nous avons dit précédemment, explique cette modification mieux que le raisonnement, et justifie la dénomination de tricot *guilloché* ou *quadrillé* donnée aux produits caractérisés par cette sorte d'entrelacements.

Ils s'obtiennent par une modification dans la manière d'opérer le pressage ou fermeture des becs des aiguilles. Supposons que l'action sur celles-ci, au lieu de se pratiquer simultanément sur

tous ceux de la fonture comme dans la production du tricot uni, s'opère par une presse qui porte des encoches par intervalles correspondant à certaines aiguilles, les becs de ces aiguilles ne seront pas pressés et resteront par conséquent ouverts. La maille précédente, ramenée en avant, rentrera sous ces becs au lieu de passer par-dessus, et ne sera par conséquent pas abattue. Les aiguilles non fermées seront chargées de deux mailles ou plus, si on fait plusieurs rangées sans presser ces aiguilles. Ces mailles doubles ou multiples étant abattues, forment sur le tricot des entrelacements saillants dont l'ensemble concourt à un effet général déterminé à l'avance, plus ou moins compliqué, qui lui a valu le nom de *guilloché*.

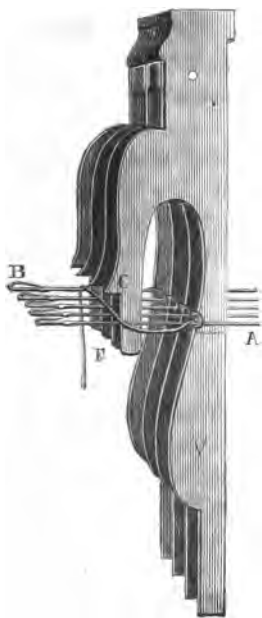


Fig. 7.

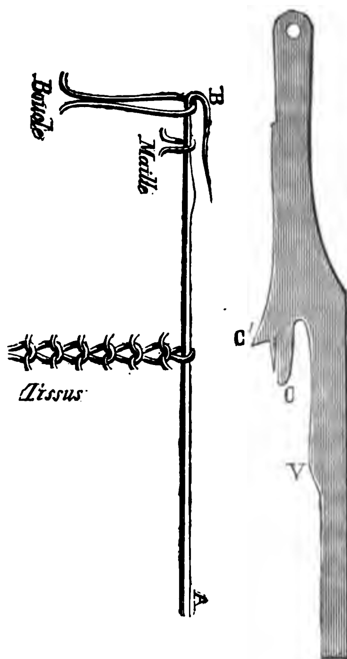


Fig. 8. Fig. 9.

La combinaison des *mailles doubles* s'obtient encore par le concours de la presse à guillocher. Elles sont réalisées en imprimant un mouvement de translation alternatif à la presse à encoches

de droite à gauche et de gauche à droite; on arrive ainsi à changer la place des mailles doubles d'une rangée à l'autre. Si dans la première les mailles sont doubles à chaque aiguille paire, dans la suivante elles le seront à chaque aiguille impaire, et ainsi de suite.

Mécanisme à tricot de Berlin.

On peut encore produire l'effet du guilloché et obtenir divers résultats analogues en se servant d'une espèce de peigne au lieu de presse. C'est un mécanisme qui, au lieu d'une barre à encoches, a une règle à aiguilles dont les pointes peuvent entrer dans les intervalles des becs des aiguilles du métier et en soulever les mailles. Si l'on suppose ce mécanisme muni d'un nombre d'aiguilles égal à la moitié du nombre de celles de la fonture, et que par une manœuvre convenable l'on vienne par ces lames ou aiguilles agrafer une maille sur deux et les soustraire à l'action de la presse en les soulevant, le résultat sera analogue à celui de la presse à encoches.

On incorpore parfois un fil nouveau et additionnel entre la séparation ainsi faite des mailles d'une rangée. Les tricots, particulièrement élastiques qui constituent les bas élastiques contre les varices, sont en général obtenus par le passage d'un fil de caoutchouc en travers, dans l'angle formé par la presse ou le peigne de Berlin.

Métiers circulaires.

L'invention des métiers dits *circulaires*, destinés à faire des pièces de tricots sous la forme d'un tube ou manchon d'un diamètre plus ou moins grand et d'une longueur indéterminée, remonte à 1815 environ. On obtient sur ces métiers, par le développement des cylindres tricotés, une surface plane que l'on emploie comme un tissu quelconque, dans lequel on découpe les formes à assembler en raison de leur destination. Quoique inventé en principe vers 1815, ce système, par suite des perfectionnements qu'il a fallu y introduire, et aussi à cause de la lenteur inhérente à la propagation de toute nouveauté, n'a commencé à se faire adopter que vers 1835. L'indication des éléments qui le composent démontrera que la faveur dont il a joui et jouit encore repose surtout sur la possibilité d'une production

particulièrement économique, restreinte aux articles à bas prix, ceux pour lesquels les formes n'ont pas besoin d'être établies par des variations dans le nombre des mailles par rangée lors de leur exécution, et aux objets qui n'ont pas de dimensions variables. La confection de la belle bonneterie reste en effet exclusivement réservée au système connu indistinctement sous les noms de métiers *droit*, *rectiligne*, de métier *français* par les uns, et *anglais* par les autres; dénominations qui indiquent des prétentions réciproques bien difficiles à trancher, comme nous l'avons vu au commencement de cet article.

Depuis l'origine de l'usage des métiers circulaires, ils ont été modifiés de diverses manières, mais tous se composent des organes indispensables aux métiers droits : 1° d'une fonture ou jeu d'aiguilles disposées autour d'un plateau circulaire comme autant de rayons, au lieu d'être disposées parallèlement entre elles sur une même ligne droite; 2° d'un organe cueilleur modifié en raison de la disposition particulière des aiguilles; 3° d'un mode de pression pour fermer les becs; 4° d'un moyen pour faire cheminer les mailles pour arriver à l'*abatage*.

La dénomination de ces organes démontre que le travail du tricot circulaire réclame les mêmes éléments que la confection du tricot rectiligne exécuté sur le métier classique. Les modifications des divers métiers circulaires ont pour objet de modifier les formes des organes, de les approprier à la disposition particulière des aiguilles.

La fig. 9, pl. XVI, offre une coupe verticale dans la direction du rayon par un plan passant entre deux aiguilles successives. Elle représente une portion du système des métiers circulaires les plus simples, qui ne diffère absolument du métier droit que par le groupement des organes et leur transmission de mouvements. Les formes des aiguilles, celles des platines cueilleuses, sont à très-peu de chose près celles décrites pour le métier rectiligne. La fig. 10 est une vue horizontale prise au-dessus du plateau porte-aiguilles. Le métier peut être mû à la main par une manivelle ou par un moteur quelconque agissant sur une poulie qui remplacerait la manivelle.

Les aiguilles sont disposées circulairement autour d'un plateau *i*, fig. 10, sur lequel elles sont fixées par des plaques de pression au moyen de vis *v*. Ce plateau porte des entailles

pour recevoir chaque extrémité de l'aiguille qui est recourbée en *a*, fig. 11, pour mieux se fixer dans les vides destinés à déterminer la position relative, exacte et invariable des aiguilles. Les becs, crochets ou parties travaillantes des aiguilles se dirigent par conséquent toutes vers le centre dans la direction des rayons. Entre chacune des aiguilles horizontales est disposée une platine verticale *h* terminée par un bec de cueillage *c* à sa partie supérieure. Une courbe, tantôt concave, verticale *r*, pratiquée à sa partie inférieure, fig. 12, tantôt convexe, fig. 9, destinée à la faire reposer sur une bande métallique circulaire arrondie ou chemin de fer A. Ce chemin de fer se relie au bâti par des équerres et des oreilles. Il est par couséquent commandé par le mouvement général. Disons de suite que le rebord supérieur de ce chemin circulaire mobile est taillé en zigzags courbes *a*, *b*, *c*, par partie, c'est-à-dire que les platines *h* ou *v*, au lieu de se trouver toutes au même niveau, descendent par moments le long d'un petit chemin courbe incliné *a*, *b*, *c*, comme le montre la vue de face de cette partie A, fig. 12.

La fonture est munie : 1° de la petite roue B, à disposition inclinée par rapport aux aiguilles, fig. 14. Elle remplit les fonctions d'une presse ordinaire et ferme par conséquent les becs des aiguilles à mesure qu'elles viennent se présenter dans leur rotation sous la partie de la jante qui les atteint; 2° d'un ressort de crochement *d*, fig. 13, pour remplacer les *pièces de reculement* dont les fonctions consistent à repousser les platines et les mailles en arrière dans le moment voulu; 3° d'une pièce E, fig. 13, adaptée au-dessus des aiguilles de la fonture derrière la tête des platines, vers la partie *a*, *c* du chemin de fer, cette pièce dite *bouillonneur* leur donne un mouvement pour faire arriver le bec inférieur *d* vers la tête des aiguilles *e*, un ressort est placé sous les aiguilles *e* et sur le travail immédiatement après le *bouillonneur* E, pour faire rentrer les platines ainsi que le travail à la position voulue pour faciliter le cueillement ordinaire, et d'une autre pièce destinée à maintenir et à ranger le tissu pour l'empêcher de s'engager sous la presse. Une roue dentée A, fig. 14 en élévation, et fig. 19 en plan, remplissant les fonctions de la presse à guillocher dans les métiers rectilignes, est placée au-dessus du jeu des aiguilles, elle est par conséquent destinée à opérer la pression de deux en deux places.

Les aiguilles pressées descendent de plusieurs millimètres, tandis que celles en regard des vides restent en place; 4° enfin, des guide-fils *s* lorsqu'il se rend des bobines alimentaires *r* aux aiguilles. Les parties tournantes, chemin de fer, fonture et platines reçoivent leur mouvement par la roue placée à la circonférence R, fig. 10.

Fonctionnement du métier.

Si nous supposons ce mécanisme en activité, le fil s'étale sur les aiguilles. Il est cueilli ou infléchi aussitôt dans les intervalles qui les séparent, soit par la descente des platines *h* ou l'inclinaison de celles *v*, suivant le système.

La pression de la roue A sépare les aiguilles en deux rangs, l'un inférieur et l'autre supérieur.

Un conducteur H est fixé à la pièce I, qui soutient la roue A ou tout autre support.

Le fil de trame introduit entre deux rangs, se trouve croisé sur les aiguilles en arrivant au *crochement;* ce fil est mis en retraite vers le pied des aiguilles aux points *i*, fig. 9, par le bec inférieur *d* des platines, afin de laisser libre le cueillement du tricot par l'abaissement des platines le long des encoches du chemin de fer, puis guilloché comme il vient d'être dit, par la roue A. Une fois le cueillage opéré, les pièces de reculement à ressort font éloigner des becs la maille qu'il faut supposer précédemment faite, puis la roue presse ferme les becs pour permettre à la maille reculée de repasser au-dessus, ce qui a lieu ou par le basculement vertical des platines à un moment donné, basculement ou inclinaison qui est déterminée par des pièces à crochet R′ qui remplissent les fonctions de cames ou par toute autre transmission qui fait avancer la platine parallèlement à elle-même, alors elle affecte la position donnée fig. 9.

Lorsqu'on veut faire varier les finesses du tricot, on change la garniture des aiguilles; et leur rapprochement dans un même plateau, en raison de la jauge ou de la réduction du métier et par conséquent du résultat à obtenir.

La disposition qui vient d'être décrite est connue sous le nom de métier circulaire à système d'aiguilles intérieures, en raison

de la position relative des becs par rapport au centre, et en opposition de celui connu sous le nom de système à aiguilles extérieures, parce que les crochets travailleurs des aiguilles sont dirigés vers la circonférence extérieure du plateau. Le tissu formé se développe concentriquement à la plus grande circonférence du plateau, il forme un manchon vertical à l'extérieur du métier. Ce dernier système exigeant plus de place, des aiguilles plus longues, plus grosses et moins rapprochées que le précédent, est moins propre aux produits fins et délicats que la machine à fonture intérieure qui lui est souvent préférée par ces motifs.

L'un et l'autre de ces systèmes peut également servir à faire comprendre les diverses modifications principales apportées à ces métiers, et le but en vue duquel chacune d'elles a été proposée.

Métier circulaire à roues cueilleuses.

Pour simplifier le mécanisme, on avait eu l'idée, dès l'origine de la création du système circulaire, de supprimer entièrement les platines cueilleuses et d'y substituer une petite roue à dent disposée de telle façon que chacune de ces dents devait, par un mouvement de rotation, appuyer sur le fil étalé sur la fonture, et s'engager successivement entre les aiguilles correspondantes. Cette action forçait le fil à s'infléchir et de former le feston de la maille. L'emploi de ce moyen n'a eu que peu de succès, parce que le nombre des petites dents fixes et rapprochées placées autour de la circonférence d'un cercle simultanément en prise, ne pouvaient agir uniformément ni assez efficacement. Si l'on suppose le fil cueilli sur l'espace de trois dents engrenées par exemple entre les aiguilles, celle du milieu sera plus profondément engagée que ses voisines, et lorsque dans le temps suivant l'une de celles-ci sera à son tour la plus engagée, son action tendra à faire ressortir des aiguilles la boucle précédemment formée. Cet inconvénient est d'autant plus grave, que le fil qui l'éprouve est plus élastique.

Il est en tout cas tel, que l'on ne peut introduire qu'une petite quantité et une faible longueur de fil à la fois entre les aiguilles, et avec un effort assez grand pour exiger des pièces de soutien sous la fonture comme point d'appui des aiguilles correspondautes aux dents de la roue cueilleuse. Malgré ces précautions,

les ruptures occasionnées par ce mode d'opérer ne permettaient pas l'emploi de fils d'une qualité médiocre; il fallait alors des matières parfaites et parfaitement apprêtées, et encore ces précautions ne suffisaient-elles pas pour mettre certains organes du métier, tels que les aiguilles, à l'abri de fréquentes détériorations résultant des efforts relativement considérables que cette méthode de cueillage leur fait éprouver. L'on a parfaitement obvié à cet inconvénient dans la construction des divers systèmes de roues mailleuses ou cueilleuses actuellement en usage. Le premier de ces systèmes a été inventé en 1841 par M. Jacquin, de Troyes. Il repose, comme tous ceux imaginés depuis, sur les points principaux suivants :

1° Sur la mobilité des dents, qui peuvent rentrer et sortir par *la jante* pendant sa révolution.

2° Sur la propriété de ces dents de n'opérer sur la périphérie de la roue qu'au moment de leur fonctionnement et au point où leur action doit produire le cueillage.

3° De pouvoir faire varier la longueur des boucles en raison de la variation de l'amplitude de la course de la dent mobile.

La fig. 14 de la pl. XVI donne la disposition générale d'un métier. Voyons d'abord les principes de la roue et de la mobilité de ses dents.

La figure 15, pl. XVI, est une coupe verticale montrant l'intérieur du système, représentant deux dents M et N sorties de la circonférence. Cette roue, à peu près du volume d'une pièce d'argent de cinq francs, est formée de deux disques ou plateaux C et D. Le plateau C présente dans sa surface intérieure une suite de rainures ou coulisses *b*, *b*, rayonnant vers le centre (*fig.* 16), pl. XVI; ces coulisses sont destinées à loger les dents dont l'une est représentée isolément (*fig.* 17), pl. XVI; lorsqu'elles sont placées dans leurs rainures, elles affleurent la surface intérieure. Le second plateau D du disque ou roue qui en forme en quelque sorte une espèce de couvercle est vu dans son intérieur (*fig.* 18), pl. XVI. Les deux plateaux sont réunis d'une manière quelconque, par une goupille ou autrement, de manière à ne pouvoir se séparer. C'est ce second plateau D qui est assemblé au bâti du métier par un tenon *d*, fig. 25, pl. XVI; l'assemblage a lieu de façon à ce que la partie C de la roue

se trouve placée sur l'extrémité des aiguilles de la fonture. La courbe K est une coulisse à gorge ou directrice creuse dans laquelle s'engage le talon ou partie courbe *m*, *n*, des dents. Si l'on suppose toutes les dents placées de profil chacune dans sa rainure respective, et le disque C en mouvement, il est évident que chacune des dents se déplacera, conduite qu'elle est par son talon, et qu'elle viendra nécessairement saillir au dehors par son extrémité opposée, lorsqu'elle arrivera aux points où la distance entre le coursier courbe et la circonférence du plateau sera moindre que celle de la longueur de la dent. La forme de la courbe K est telle que la saillie augmentera progressivement du point *e* au point *r* (*fig.* 18) ; à partir de cet instant, elle commencera à rentrer dans les mêmes conditions. Il résulte de ces mouvements un cueillage progressif du fil, et que chaque dent introduit la partie correspondante du fil entre les aiguilles; avant que la suivante ne vienne produire le même effet sur la partie voisine. Le frottement éprouvé par la matière et les autres inconvénients résultant du cueillage par les roues à dents fixes se trouvent par conséquent évités ici. La roue de cueillage dite *remailleuse*, plus simplement *mailleuse*, étant en quelque sorte l'âme des métiers circulaires, a été l'objet d'une foule de modifications; toutes ont surtout pour but d'opérer le cueillage le plus promptement et le plus sûrement possible, et d'introduire pour ainsi dire instantanément sous chacun des becs des aiguilles la longueur du fil nécessaire pour former la maille, sans l'exposer à des coupures et autres défauts résultant d'un cueillage trop lent. Pour arriver plus facilement au but cherché, l'on a modifié la direction des platines par rapport à celle des aiguilles.

Dans les mailleuses à dents fixes, comme dans celles à dents mobiles dont il vient d'être question, la distribution du fil ou cueillage est opérée par des dents dont la direction est inclinée par rapport à celle des aiguilles du métier; celle de la roue elle-même doit par conséquent affecter cette direction, afin de forcer le fil à s'introduire sous les becs des aiguilles pour le forcer à regagner le fond. La fig. 19, pl. XVI, qui est la vue par-dessus d'un métier avec la roue cueilleuse A, donne cette position inclinée des dents de cette roue par rapport à la direction des aiguilles *a*. Ce degré d'inclinaison où l'angle des dents avec les aiguilles doit être en raison de la quantité d'enfoncement du fil ou de la lon-

gueur des mailles, l'inconvénient par conséquent plus ou moins prononcé, suivant le genre de métier et de produit, est surtout très-sensible pour les mailleuses à dents ou platines fixes; il est au contraire atténué dans les roues à dents mobiles, quoiqu'il se fasse encore sentir lorsque les fils employés sont très-élastiques, comme la laine par exemple, ou d'un titre élevé de toute autre substance.

C'est par ces motifs que l'on a imaginé des roues mailleuses dont la direction des platines cueilleuses agit parallèlement à la direction des aiguilles, et se présente par rapport à celles-ci comme les dents d'un pignon d'angle engrenant avec les dents de sa roue correspondante. La figure 20, planche XVI, représente cet ingénieux appareil en élévation, et la figure 21 en coupe verticale par un plan parallèle à l'axe. Les platines qui forment les *génératrices* d'un cône tronqué, opèrent le cueillage par un basculement horizontal qui fait infléchir la courbe ou crochet *o* de la platine K, représentée isolément (*fig.* 22). Elles sont très-longues et ajustées dans deux rondelles R, S, divisées et entaillées avec soin suivant des rayons concourant à leur centre. Sur les côtés extérieurs des deux rondelles sont placées les espèces de boîtes M, P, qui ne doivent pas tourner avec le système des platines *k*, mais seulement leur servir de support et de guide, et sont retenues dans leur position au moyen des goujons que l'on fait pénétrer dans les entailles *n' q'* ménagées à cet effet au bord de ces boîtes. Ces vis sont taraudées dans l'épaisseur du support C, qui sert à relier l'appareil au plateau fixe du métier, à la hauteur convenable au-dessus des aiguilles et à la distance du centre du métier déterminée par le diamètre de celui-ci.

Au-dessous de ce support C sont adaptés deux coussinets en acier D D', légèrement coudés pour recevoir : l'un l'extrémité du tourillon de l'axe E qui transmet le mouvement de rotation continu au mécanisme; l'autre la vis de rappel E' qui sert de pointe à l'autre extrémité de cet axe et lui permet de le serrer au point convenable, pour qu'il n'ait pas de jeu, mais aussi pour qu'il puisse tourner librement.

Ces deux coussinets D D' sont tenus au support au moyen d'écrous et de contre-écrous, à l'aide desquels on règle exactement la place et la hauteur des deux extrémités de l'axe.

Sur les faces intérieures des boîtes M, P, et contre celles des

rondelles R, S, sont supportés des disques en acier L, O (*fig.* 21, 23 et 24; les deux dernières montrent ces deux rondelles à plat à l'intérieur), auxquels on a donné une forme particulière. Le premier présente une rainure qui est en grande partie circulaire, et excentrée seulement sur un quart environ. Or, comme les platines sont toutes logées suivant le sens de génératrices, dans les rondelles R, S, et qu'elles traversent la rainure du disque L qui est fixé à la boîte M, il faut nécessairement que dans le mouvement de rotation des rondelles, ces platines suivent les courbes de l'excentrique et formeront le cône tant qu'elles restent dans la rainure circulaire, et s'éloignent du centre lorsqu'elles arriveront dans la partie excentrée de la rainure. L'inclinaison ou inflexion résultant de ce mouvement fait basculer l'extrémité libre des platines entre les aiguilles respectives du métier. C'est par cette espèce d'engrènement momentané et successif de chacune des platines avec les aiguilles que le cueillage du fil placé préalablement s'opère.

Mais comme il faut en outre que les mailles ou boucles arrivent dans le fond des becs, il est nécessaire que les platines aient un second mouvement parallèle à elles-mêmes. Il est obtenu par le second disque O, adapté à la boîte P (*fig.* 23).

Ce second disque présente également une rainure en partie circulaire; mais sur une portion de sa circonférence, il a une saillie O′ dans le sens de l'épaisseur du disque et sur laquelle les platines sont successivement amenées par une petite entaille *k*′ (*fig.* 22), pratiquée à l'extrémité opposée à celle chargée du cueillage. Le passage des platines de la partie droite sur celles en saillie leur donne nécessairement un mouvement de translation de gauche à droite, c'est-à-dire du centre à la circonférence du métier.

La courbure des platines agit alors sur le fil. Celui-ci se trouve agrafé et entraîné jusqu'au fond du bec où il est maintenu suffisamment de temps pour réaliser l'effet du cueillage auquel il est destiné.

Il résulte de cet exposé que la mailleuse à tronc de cône, au lieu d'une fonction seulement, en remplit deux: le cueillage et l'amenage; la première fonction est obtenue par une combinaison mécanique analogue à celle précédemment décrite, et la seconde, dont une pièce spéciale était chargée jusqu'alors, est

réalisée par une courbure spéciale de l'un des disques, point d'appui et guide directeur de la même platine cueilleuse.

Quant au mouvement, il est imprimé à la mailleuse au moyen d'un roue droite B' (*fig.* 25) à dents parallèles à l'axe de la mailleuse; ces dents engrènent avec les aiguilles sur les extrémités opposées aux becs. L'axe et la roue étant forcés de tourner, entraîne les disques ou rondelles R, S (*fig.* 20), réliées solidairement entre elles par une pièce intermédiaire que les figures n'indiquent pas.

Il est aussi des mailleuses à platines parallèles aux aiguilles du métier dont l'action, au lieu d'être commandée impérieusement par un plan incliné ou mentonnet du disque directeur, l'est par des ressorts à boudins fixés à chacune des platines pour produire le mouvement qui détermine le cueillage.

Quoi qu'il en soit, les divers systèmes de roues mailleuses peuvent être ramenés à trois principaux : aux roues à dents fixes et inclinées par rapport à la direction des aiguilles du métier; aux mailleuses à dents mobiles rentrant ou sortant dans l'épaisseur de la jante, et engrenant également dans un sens oblique par rapport à celui des aiguilles; et enfin aux roues à platines allongées se dirigeant dans leur action parallèlement aux rayons de la fonture du métier, et douées d'un double mouvement de basculement et de translation pour produire successivement le cueillage, l'amenage et l'abatage du tricot. L'on ne s'est pas borné à ces fonctions et services de la part des platines mailleuses, comme nous allons le voir.

Tricot peluche par les platines à doubles becs.

Un tricot peluche est en général une étoffe dont chaque maille est formée par une double boucle; la première moins longue que la seconde forme le fond ou la partie unie du tissu, la seconde, qui lui est superposée dans la face où elle doit apparaître, est destinée à fournir la matière qui, une fois apprêtée, garnit la surface d'un duvet plus ou moins long, plus ou moins touffu, en raison de la substance de la matière employée, de la longueur et de la réduction ou du serrage des boucles.

Le premier moyen qui se présente à l'esprit et qui fut, en effet, employé d'abord pour former ce genre d'article, consiste dans

l'usage de deux mailleuses opérant successivement sur deux fils; supposons qu'un moyen alimentaire quelconque dépose parallèlement deux fils sur les aiguilles; une première mailleuse viendra cueillir le premier fil et l'amener sous les becs, une seconde mailleuse à cueillage plus profond agira sur le second fil et l'amènera contre le premier, également sous les mêmes becs. Ils contiendront alors une rangée de boucles dont chacune sera double et d'une longueur différente. Le métier opère ensuite comme à l'ordinaire, les becs sont fermés, les boucles réunies, puis amenées et abattues comme à l'ordinaire, sans aucune modification. La boucle la plus longue, au lieu d'être formée sur chaque aiguille, peut n'être produite que de deux en deux aiguilles ou à des intervalles plus grands, suivant les réductions et les effets à obtenir. Les deux boucles peuvent également varier de couleurs et de nuances *ad libitum.* La figure 8 du texte donne la position relative des deux boucles sur l'aiguille A. Celle du fond est indiquée sous le nom de maille, c'est la plus courte, la plus longue est la boucle destinée au duvet, les deux rabattues ensemble sont représentées comme formant le tissu reculé sur l'aiguille A.

Le même produit bouclé est obtenu plus simplement encore depuis quelques années par l'appareil cueilleur ordinaire, la roue ou les platines. Il suffit alors de modifier la forme de ces organes; au lieu de terminer l'extrémité travaillante de chaque platine comme à l'ordinaire, on les munit, dans ce cas, d'une double courbure $c\,c'$ (*fig.* 9 du texte). Les figures 10 et 11 repré-

Fig. 10.





Fig. 11.

sentent les positions relatives des becs et des aiguilles avant et

après le cueillage, les lignes noires indiquent la direction du fil. Les platines verticales sont supposées appartenir à un métier circulaire opérant le cueillage par des platines isolées, et les figures 10 et 11 donnent les dispositions des platines horizontales. Enfin les figures 12 et 13 donnent la forme des platines d'un

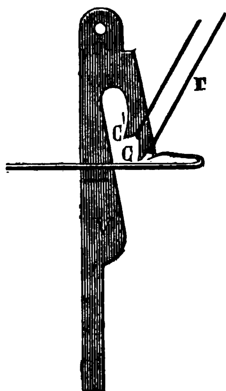


Fig. 12.

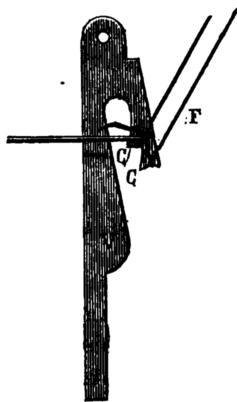


Fig. 13.

métier rectiligne modifiées d'après le même principe. Dans les deux cas, il est facile de remarquer que la modification consiste dans la double courbure *c c'*, garnie de deux angles ou crans agissant à la fois sur deux fils pour en former simultanément deux boucles de différentes longueurs, déterminées par la différence de hauteur de ces deux becs.

L'on emploie également maintenant des platines verticales à doubles becs dans les métiers les plus perfectionnés, dans le but de pouvoir opérer le cueillage avec la même facilité sur toutes les substances indistinctement. Nous avons, en effet, déjà fait remarquer que certains fils sont plus rebelles que d'autres au travail; la laine et la soie, en vertu de leur élasticité naturelle, ont une tendance à ressortir d'entre les aiguilles immédiatement après le cueillage. Dans le travail à la main, l'ouvrier a soin de maintenir plus fermement l'action des platines et d'agir, par des mouvements réitérés, sur les matières les plus rebelles. C'est pour remplacer cet effet de la main que l'on a imaginé (*fig.* 12 et 13) les deux becs *c c'* à chacune des platines; le plus profond

est destiné à la formation de la boucle, le second *c'* la retient lorsqu'elle tend à s'échapper; c'est garni d'un jeu de platines semblables qu'il devient possible de tricoter une matière quelconque sur le même métier, et c'est grâce à des perfectionnements de cette nature, qui assurent le parfait fonctionnement des organes, que la vitesse de leurs mouvements a pu être augmentée progressivement et rendus complétement automatiques. Toutes les parties de ce genre de machines sont tellement soignées à l'heure qu'il est, que l'on est parvenu à des résultats vraiment inattendus, surtout dans le système circulaire, si l'on tient compte de l'origine relativement récente de l'emploi de ces métiers.

Diverses dimensions et applications des métiers circulaires.

On exécute des métiers circulaires de cinq centimètres à trois mètres de diamètre de fonture. Les premiers sont plus spécialement destinés à de petits objets, à faire des bandages et autres articles pour les besoins de la chirurgie; l'on exécute sur les derniers des tissus de coton et surtout de laine destinés à faire une sorte de draperie foulée particulièrement élastique, et surtout propres à certains vêtements du matin et de maison, tels que pantalons à pieds, robes de chambre, etc. Entre les deux dimensions désignées plus haut, on peut compter un grand nombre de *formats* différents, une vingtaine au moins. Le nombre de *chutes*, c'est-à-dire le nombre de répétitions des mêmes organes, tels que mailleuses, presses, pièces de reculement et d'abatage, augmente à finesses égales en raison du diamètre. Les organes constituant une chute remplissant exactement les mêmes fonctions que les doigts de l'ouvrière tricoteuse, il en résulte que plus il y a de chutes sur une machine, plus elle produira. Une petite machine sur un modèle de $0^m,36$ de diamètre, garnie de 1,000 à 1,100 aiguilles, munie de deux chutes seulement, peut tricoter 50 à 60 mètres carrés d'étoffe par jour, pesant de 4 à 5 kil. Or, il y a de ces métiers dont le nombre de chutes s'élève à vingt, et dont la production est plus que décuple.

Cependant l'on a pensé pouvoir aller plus loin encore, tant sous le rapport de la simplicité des combinaisons mécaniques du métier que sous celui de la rapidité de son action et de sa pro-

duction. Le système que nous allons décrire est en effet remarquable à ce double point de vue.

Métier circulaire à crochets.

Ce système est caractérisé : 1° par l'organe fondamental, le crochet du métier; 2° par les transmissions de mouvements qui le font agir. Le crochet est d'une construction telle qu'il remplit à lui seul les fonctions d'une aiguille ordinaire, d'une roue ou d'une platine mailleuse et d'une presse. La fig. 26, pl. XVI, représente cet organe isolé dans la position verticale, sur une échelle moitié de la grandeur d'exécution. On y remarque trois parties distinctes : 1° la partie inférieure P, avec une saillie *l*; cette partie a de l'analogie dans sa forme avec les platines ordinaires, et en *remplit* en partie la fonction; 2° le crochet proprement dit H, qui est assemblé ou soudé à l'une de ses extrémités à la base ou platine plus large P, et dont l'autre extrémité est terminée par une petite courbe *s*; 3° un petit levier ou clanche *i* pouvant tourillonner autour d'un point d'articulation *x*. Abandonnée à elle-même, la clanche s'ouvre complétement et s'abaisse pour venir se loger dans une petite cavité, ou chas, pratiquée dans l'épaisseur du crochet H, et fait alors corps avec lui. On peut au contraire lui donner la position indiquée dans la figure 27, et la relever jusqu'à ce qu'elle ferme complétement la petite courbe *s*.

Si maintenant on suppose un fil en présence d'un crochet semblable et sous son bec, et que la partie P s'abaisse, la courbe *s* infléchira et cueillera le fil. Si l'on ferme complétement la clanche sur le fil cueilli, et que l'on suppose une boucle préalablement formée, on pourra l'abattre par-dessus la courbe et former ainsi une série de mailles.

L'idée de ce crochet, d'invention anglaise, si nous ne nous trompons, paraît avoir été suggérée par l'usage d'un crochet dont on se servait fréquemment autrefois et dont on se sert encore parfois pour faire une espèce de tricot, dit *tricot au clou*. Mais ce crochet perfectionné était resté sans emploi sérieux jusqu'en 1859, où MM. Tailbouis et Anatole Jacquin en ont fait l'un des métiers circulaires les plus remarquables par son ingé-

niosité et la sûreté de son fonctionnement, si nous en jugeons par ceux que nous avons vus travailler dans l'établissement de l'un des auteurs à Saint-Just.

La figure 27, pl. XVI, présente une vue verticale de ce métier, la moitié en élévation, et l'autre en coupe.

Il est supporté par un trépied T en fonte, au centre duquel se trouve placé un cylindre N, qui maintient dans son intérieur un cylindre en cuivre C, exactement alésé et divisé de façon que chaque division corresponde à l'une des platines fixes P. Les talons *l* de ces platines coulissent dans une rainure pratiquée sur le pourtour du cylindre en fonte, vue en coupe en E N.

La commande du cylindre N et des pièces qui lui sont solidaires a lieu par la roue d'angle I placée sur la base inférieure, qui reçoit son mouvement du pignon d'angle J, auquel l'action est imprimée par une manivelle M ou une poulie placée sur l'axe du volant régulateur V.

R sont des montants métalliques qui maintiennent un cercle X Y, support de broches *a* à articulations *a'*, destinés aux bobines de fil et à leur donner la direction la plus convenable.

Le corps du métier qui vient d'être décrit, assemblé sur l'arbre A, peut être descendu plus ou moins, au moyen d'un assemblage à douilles LL, et des vis de pression *v v*, dont le desserrage permet d'élever ou d'abaisser la douille *d* à frottement doux, venue avec le cylindre *c*, pouvant se déplacer sur l'arbre fixe A. A la partie inférieure du système, se trouve assujetti par des entretoises un appareil enrouleur, commandé par la machine elle-même pour envider l'étoffe comme à l'ordinaire, à mesure qu'elle est produite.

Fonctionnement du métier. Le mouvement imprimé à la manivelle M entraînera le cylindre D, qui à son tour imprimera la rotation aux crochets encastrés par la saillie *l* de leur partie inférieure dans des cercles mus par le plateau N. Les saillies ou talons *l*, assujettis à suivre dans leur mouvement les sinuosités *m* pratiquées sur tout le tour du cylindre fixe et extérieur, recevant nécessairement un mouvement de va-et-vient vertical, le transmettront aux crochets et à leur levier ou clanche *i*, qui déterminera en conséquence la formation de la maille, sans l'intervention de mailleuse, ni de presse d'aucun genre.

En effet, le fil à ouvrer est transmis par un simple tube conducteur *o* placé en face de chaque chute ou jeu de crochets. A peine le fil est-il arrivé sous le bec ou crochet dont la partie inférieure repose en ce moment à la partie supérieure de l'un des plans inclinés *m*, qu'il continue à descendre et, par conséquent, à infléchir ou à cueillir le fil. Ce mouvement du crochet détermine la fermeture de la clanche et permet par conséquent l'amenage et l'abatage de la maille précédemment faite par-dessus la courbe du crochet. Cette dernière fonction est réalisée par la traction continue exercée sur le tissu fait par le mécanisme enrouleur placé à la partie inférieure du métier.

Chacune des séries des crochets correspondant à une répétition des mêmes résultats, désignés sous le nom de *chutes* dans les métiers ordinaires, est alimentée par un tube conducteur *o*. Tous les tubes conducteurs d'un même métier sont maintenus sur un même plateau annulaire fixe, enveloppant le cylindre C.

Pour donner au cueillement toute la régularité requise et le varier à volonté, l'achèvement de chaque chute est déterminé par des petites pièces en acier *f*, mobiles verticalement et réglées par des vis de rappel *g*. Ces divisions circulaires équidistantes, auxquelles correspond un index fixé sur chaque pièce *f* permettent de régler le degré de serrage voulu sans tâtonnement.

Outre la simplification considérable du nouveau métier à crochets, il présente plusieurs autres avantages:

Un parallélisme parfait de la base au sommet des crochets; cette équidistance mathématique est indépendante de la dimension du métier, ce qui ne peut avoir lieu dans aucun autre système circulaire, où les aiguilles de la fonture ont toujours la direction de rayons.

Il en résulte une facilité de multiplier les systèmes ou répétitions d'une façon telle, qu'un métier de $0^m,10$ de diamètre, pour faire des bas de petites tailles, peut être muni de 10 chutes au moins, et un grand métier de 1 mètre de diamètre, employé pour faire des jupons par exemple, peut en recevoir plus de 100. La conséquence de ces propriétés est une augmentation de production proportionnelle, et par conséquent une diminution considérable dans les frais de la fabrication. Une autre conséquence de la multiplicité des chutes et de leur alimentation, c'est la facilité de varier les effets en variant les couleurs des fils en travail, et

d'arriver ainsi, sans augmentation de dépenses, à des effets façonnés que l'on ne pouvait aborder avant, dans les articles communs.

Quoique le métier circulaire à crochets commence seulement à être en usage, on peut néanmoins déjà le considérer comme constituant un système spécial, d'un emploi particulièrement avantageux dans certains cas. Mais il présente surtout un grand intérêt au point de vue de nouvelles et plus importantes applications encore, qui lui sont infailliblement réservées.

Des conditions générales à réaliser dans l'installation des métiers circulaires en général.

L'avantage principal du système circulaire consistant dans l'économie de la production, il faut par conséquent pouvoir leur imprimer une vitesse aussi grande que possible. La première condition pour atteindre ce but est une exécution parfaite de chacun des organes, aiguilles, platines, ondes ou roues mailleuses, et une précision mathématique dans leurs combinaisons et assemblage; aussi l'exécution de chacun de ces éléments a-t-elle été l'objet de recherches très-sérieuses; l'on a non-seulement étudié les formes les plus convenables à donner aux parties pour arriver plus facilement au but, mais les moyens d'exécution, la trempe et le recuit de pièces aussi délicates que les aiguilles et les platines, ont été sensiblement perfectionnés.

En outre de ces soins indispensables en tous cas et en tous temps, il a fallu, depuis que les métiers sont mus rapidement, automatiquement et plusieurs par le même moteur, munir chacun d'eux d'un débrayage, afin d'opérer l'arrêt spontané du métier, lorsqu'un fil vient à rompre ou si un accident se présente. Ce mécanisme débrayeur doit de plus être combiné à un compteur, afin que le travail soit arrêté lorsque le manchon a atteint la longueur déterminée à l'avance. Il faut enfin que le mode d'enroulement du tissu fait se régularise, pour que la tension ne varie pas avec l'accroissement de grosseur du rouleau récepteur, sans quoi l'action sur les aiguilles varie et produit un résultat irrégulier : les métiers doivent donc être munis d'un régulateur convenable.

Ces divers mécanismes importants au point de vue de la bonne marche d'un atelier, quoiqu'on les puisse considérer comme accessoires, existent et fonctionnent pratiquement; mais la description détaillée nous conduirait trop loin pour le moment; nous devons par conséquent nous borner à les mentionner, pour donner une idée à peu près complète de la situation réelle des progrès dans les diverses parties et spécialités embrassées par l'industrie de la bonneterie, encore si peu connue et en dehors d'un certain nombre d'hommes spéciaux.

Le métier circulaire à crochets de MM. Tailbouis et Jacquin (*fig.* 26 et 27), est sans contredit le mécanisme tricoteur automatique réduit à sa plus simple expression, et le moyen le plus économique de faire des étoffes à mailles, sous forme de manchons ou tubes; mais l'usage actuel de ces ingénieux crochets se borne à la formation de tuyaux qui ne peuvent recevoir les formes de *bas*, que par des apprêts dont la durée n'est pas persistante. On y arrive en tendant le manchon tricoté, savonné et vaporisé sur un moule en bois ayant la forme du bas, et en le laissant sécher à cet état. Les contours du vêtement ne s'obtiennent ainsi qu'imparfaitement et pour une tension qui agit irrégulièrement sur les divers points du tissu, ce qui l'affaiblit. Cet inconvénient, joint à celui du peu de durée de la forme, disparaissant aux premiers lessivages, indique bien les causes pour lesquelles ce système de métier ne peut jusqu'ici être appliqué qu'aux produits les plus communs, fabriqués surtout pour l'exportation. Il n'est pas dit cependant qu'avec le temps et grâce aux persévérants efforts des inventeurs, on ne parvienne à appliquer ce genre de crochets aux métiers droits, et à les faire concourir à la confection d'articles plus perfectionnés; car il est en effet impossible d'obtenir des produits estimés dans la bonneterie sans le concours du métier rectiligne dont le système a été précédemment décrit.

Métier rectiligne automatique à divisions multiples.

Le plus grand progrès, dont l'industrie de la bonneterie a été l'objet, consiste dans l'exécution d'un métier rectiligne pouvant faire simultanément et automatiquement un nombre de pièces qui n'est limité que par celui des fontures, et par conséquent

par la largeur du métier. Les tricots ouvrés sur ces métiers sont à formes, c'est-à-dire à *élargie* et *rétrécie*, suivant les besoins, et au moins aussi bien tissés que s'ils l'avaient été par l'ouvrier à la main le plus habile. Jusqu'ici les métiers les plus perfectionnés de ce genre sont à 6 divisions ou 6 fontures, produisant par conséquent simultanément 6 bas, avec une dépense insignifiante de force (1/10 de cheval). Un seul homme conduit facilement deux métiers qui produisent en finesse moyenne, en réduction ou jauge dite 20 fins, quatre douzaines de paires de bas ou 96 bas en 12 heures. Le même homme, en travaillant sur un métier ordinaire, n'en peut exécuter que *trois paires* pendant le même temps. La puissance productrice de l'ouvrier est par conséquent augmentée dans la proportion de 1 : 16, sans que la perfection du produit en souffre, au contraire, il y a plutôt moins de chances d'imperfections et de petites irrégularités que dans le travail de la main qui se fatigue. L'emploi de ce métier, qui commence à se propager dans l'industrie des tissus à mailles, permet donc de faire au moins aussi bien que les meilleurs moyens en usage, d'obtenir des rendements sans précédents sous le rapport de la quantité, et explique comment les salaires ont pu être augmentés parallèlement à la diminution du prix de revient du produit.

Lorsqu'on voit fonctionner un métier qui produit six bas à la fois, il paraît fort compliqué, et cependant une machine semblable n'offre pas un organe ni un élément que ne possède le métier rectiligne ordinaire, et que nous ne connaissions par conséquent d'après les descriptions précédentes. Les différences entre le nouveau métier et l'ancien consistent principalement dans l'étendue plus grande du système à plusieurs divisions, et dans les transmissions de mouvements pour automatiser toutes les parties. Pour expliquer la machine nouvelle par des dessins, il eût fallu multiplier les figures de cet article outre mesure, et revenir de nouveau sur une partie de celles qui ont été décrites. Si elles ont été convenablement comprises, elles suffiront pour se rendre compte en principe des additions et des combinaisons mécaniques qui distinguent le métier rectiligne automatique à produire plusieurs pièces à la fois du métier rectiligne ordinaire.

Supposons une vue de face du métier classique, suffisamment

étendue pour que l'on puisse, au lieu d'un fil, en étaler sur la fonture six de même largeur les uns à côté des autres. Bien entendu qu'entre chaque fil il y a un espace vide pour établir une séparation convenable entre les pièces d'étoffes et le jeu du mécanisme nécessaire à chacune. C'est donc simplement un métier à fonture ordinaire interrompue de place en place. Chacune de ces fontures est munie de deux poinçons, placés chacun en regard des lisières; l'un à la lisière ou rive de droite, et l'autre du côté opposé. Ils sont destinés, à un moment donné, à se déplacer de la distance d'une maille, pour élargir ou rétrécir la pièce, suivant la direction du déplacement de ces poinçons. Le métier à 6 bas est par conséquent garni de 12 poinçons semblables qui, comme les autres organes, doivent être commandés simultanément. Un mouvement continu de la part de la poulie motrice du métier, commandé à la main ou par un moteur quelconque, doit donc successivement réaliser les diverses fonctions qui concourent au travail complet, et chacune d'elles doit s'exécuter six fois simultanément sur un métier à six bas. Rappelons que ces fonctions sont : 1° la distribution du fil ou alimentation du métier et le cueillage; 2° le formage et l'abatage; 3° la fermeture des becs des aiguilles par la presse; 4° abaissement intermittent des poinçons et leur mouvement de translation; 5° actions correspondantes à celle du crochetage dans les métiers ordinaires, pour ramener les organes et leur commander à leurs positions initiales après leur fonctionnement.

Certaines de ces fonctions, comme celles dont les poinçons sont chargés, se décomposent pour s'exécuter en plusieurs temps. Elles ne se réalisent, en effet, qu'à des intervalles déterminés. Il faut que les organes qui les réalisent embrayent et débrayent spontanément à des périodes variables du travail, et de plus, que le point d'application de l'organe (du poinçon) se déplace suivant une certaine loi à déterminer *à priori*.

Ces conditions peuvent donner une idée de la complication du problème à résoudre, et de la précision que réclament la combinaison et l'exécution de toutes les pièces mécaniques qui concourent à la construction du métier qui les résout pratiquement. Ceux que nous avons vus fonctionner dans les ateliers de M. Tailbouis, à Saint-Just, ne paraissaient réellement rien laisser à désirer.

La conception générale du système est facile à énoncer. Il consiste dans un arbre principal sur lequel sont assemblées autant de cames que le métier doit réaliser de fonctions ou de mouvements principaux. Ces cames commandent les organes par des tiges et des leviers convenablement combinés pour établir les relations voulues. Nous avons compté une vingtaine de cames au moins, dont une douzaine environ doivent avoir des tracés différents. Malgré les répétitions de ce genre de transmissions, l'un des moins avantageux sous le rapport de la dépense de la force, le métier est fort léger, comme nous l'avons dit, puisqu'un homme en peut faire fonctionner deux à la main. Cela tient aux conditions toutes particulières et primordiales du travail des entrelacements qui se produisent sur des fils, sans tension et par conséquent sans éprouver de résistance sensible. Le cas dont il s'agit est peut-être celui où l'usage des cames a pu rendre les plus grands services.

Influence directe des connaissances scientifiques sur les progrès les plus récents et les plus importants de l'industrie de la bonneterie.

Si l'on considère le travail des tricots depuis leur origine jusqu'aujourd'hui, on peut le diviser, sous le rapport des moyens de production, en deux grandes phases; la première embrasse celle du tricotage à la main, et la seconde date du commencement des premières tentatives du travail automatique. Cette dernière est plus récente pour la bonneterie que pour les autres industries textiles; elle ne remonte pas à trente ans. Et malgré toute l'importance de l'invention du métier classique et de certains accessoires qui le complètent pour faire une infinité d'espèces de tricots usités antérieurement au dix-neuvième siècle, et dont nous avons fait une énumération succincte au commencement de cet article, les progrès réalisés dans la dernière période trentenaire sont de beaucoup plus considérables, et profitent plus aux masses que l'ensemble de ceux obtenus dans les trois siècles qui l'ont précédée. Pour se faire une idée nette des ressources de la bonneterie avant l'usage du travail automatique, l'on pourra consulter, après l'*Encyclopédie* de Diderot et de d'Alembert, déjà citée, *l'Art de tricoter*, de Netto et Lehman, Leipsig, 1802. Cependant, pris individuellement, les artisans mé-

caniciens d'autrefois avaient en général autant d'habileté de main et une aussi grande somme de conception que ceux d'aujourd'hui; mais ils n'avaient pas les mêmes connaissances à leur disposition. Ce fait n'ayant pas besoin de démonstration, nous nous bornerons à en faire ressortir les conséquences par quelques exemples fournis par le sujet qui nous occupe.

La transformation du système rectiligne en circulaire, qui a été le point de départ d'une série de progrès dans la production de la bonneterie en général, et des bas à bon marché en particulier, repose sur une idée ingénieuse qui n'avait pas besoin, en apparence, du concours de connaissances spéciales si on ne considère que le principe du métier nouveau. Mais son application a été en quelque sorte insignifiante de 1815 à 1841, à cause des difficultés que présentait l'emploi des roues mailleuses à dents *fixes*. Ce n'est que lorsqu'un habile mécanicien, familiarisé avec les tracés géométriques, a eu l'idée, facile à concevoir, d'une roue mailleuse à dents mobiles, mais difficile à exécuter sans les connaissances relatives aux propriétés des courbes et des cames, est parvenu à réaliser sa conception, que l'application des métiers circulaires a pris une extension remarquable. Des mailleuses à dents mobiles ont été étudiées sous toutes leurs formes, depuis lors, par les constructeurs les plus compétents, qui, grâce à leurs connaissances théoriques, sont arrivés aux diverses mailleuses à tronc de cône (*fig.* 20 et 21), aussi remarquables par leur conception rationnelle que par leur parfaite exécution, et la possibilité de leur application à toutes espèces de substances textiles.

Une fois le métier circulaire réhabilité, lancé dans la pratique et compris dans tous ses détails, il a été simplifié au point de ne renfermer que les organes du métier rectiligne classique disposés circulairement, fonture et platines, auxquels on s'est borné à donner les mouvements voulus par la rotation d'un chemin de fer (*fig.* 9, 10, 11 et 12, pl. XVI). Cette transformation, comme la précédente, s'est fait jour sous diverses formes modifiées. Mais si l'on compare la disposition et l'action des mêmes organes dans l'ancien et les nouveaux systèmes, on remarquera bientôt que chacun des éléments a subi une modification telle, que le métier est devenu apte à des résultats impossibles sans les changements qui sont les conséquences d'une étude ration-

nelle. Les aiguilles ont été améliorées dans l'exécution, les platines ont été raccourcies, afin de leur donner moins d'épaisseur pour atteindre des réductions plus élevées et la rigidité nécessaire à l'accélération de leur mouvement. On a changé dans le même but le placement du point d'appui autour duquel chacune d'elles opère son basculement dans le système horizontal. Le double bec est venu remplacer le bec unique afin de généraliser l'application et de pouvoir travailler indistinctement toutes espèces de fil sur le même métier. Et à peine le métier à crochets a-t-il reçu ses premières applications, que la théorie générale indique des directions nouvelles dans lesquelles des essais nouveaux permettent d'espérer des résultats plus favorables encore.

Si des tricots unis, dont nous nous sommes principalement occupé, nous passons aux façonnés, produits en si grande quantité et à si bon marché aujourd'hui, nous rencontrerons des applications de calculs géométriques d'un ordre spécial.

Rien de plus facile que d'arriver, sur le métier rectiligne, à produire certains genres de figures; là, on se le rappelle, les aiguilles sont en lignes droites et en nombre indéterminé. Il suffit de substituer à la presse unie une presse à encoches correspondant à certaines aiguilles de la fonture. Par suite de cette disposition, un certain nombre de becs, n'étant plus pressés, resteront ouverts, et l'*amenage* de la rangée de mailles précédente, reculée en arrière, fera entrer sous ces becs les mailles correspondantes au lieu de les faire passer par-dessus et de les abattre. Les aiguilles non pressées seront par conséquent chargées de deux mailles (ou plus si l'on en fait plusieurs rangées de même). Ces mailles doubles ou multiples étant abattues, forment sur le tricot les points saillants désignés sous le nom de *guilloché*. La combinaison pour obtenir un effet déterminé à l'avance a lieu en faisant glisser la presse à encoches de droite à gauche ou de gauche à droite, pour obtenir des mailles doubles sur diverses aiguilles de chaque rangée.

Tricots circulaires façonnés.

Mais, nous l'avons déjà dit, le travail des métiers rectilignes jusqu'à ces derniers temps était le plus lent et le plus coûteux;

la production des tricots façonnés par conséquent très-chère. L'on a dû songer à l'obtenir, et on y est arrivé presque sans frais sur les métiers circulaires en substituant aux presses à guillocher du système rectiligne, des roues à encoches sous lesquelles passent les aiguilles établies sur le même principe, et produisant sur les métiers circulaires des résultats identiques à ceux que donne le système rectiligne à tricots façonnés.

Ces roues sont connues, dans la spécialité, sous le nom de *roues chaîneuses* ou *roues-presses*. Il y a autant de ces *roues chaîneuses* sur un métier circulaire que de chutes, et par conséquent que de roues mailleuses ordinaires. Si la circonférence de la roue-presse est unie ou divisée en petites dents en rapport avec le nombre des aiguilles de la circonférence, tous les becs sont pressés, il se produit du tricot uni.

Si la roue est taillée d'encoches, de façon qu'il n'y en ait pas en regard de certaines aiguilles, celles-ci produiront les mailles doubles d'un dessin qui sera écru, damassé ou de couleur, suivant que les fils supplémentaires des chaîneuses seront de même nuance que ceux travaillés par la mailleuse du fond ou en différeront. C'est donc par le moyen de ces roues-presses accompagnant chaque roue mailleuse et en sachant combiner les effets entre eux, que l'on parvient à réaliser sur les tricots des dessins déterminés *à priori*, d'après une mise en carte analogue à celle dont les dessinateurs se servent pour la fabrication des étoffes façonnées en général.

Si le principe sur lequel l'obtention de ces résultats paraît simple, sa réalisation précise et directe dans la pratique nécessite des connaissances spéciales.

Le problème consiste, en effet, *à combiner le nombre des dents et la distribution des encoches de la roue-presse avec le nombre invariable des aiguilles du métier, pour produire un dessin donné.*

Si l'on désigne le nombre des aiguilles du métier par M et le nombre des dents de la roue par R, il est évident que si R divisait exactement M, les mêmes encoches de la roue seraient toujours en rapport des mêmes aiguilles à chaque tour du métier. En travaillant avec une seule roue-presse et une seule mailleuse, les mêmes aiguilles se chargeraient de plus en plus de mailles non abattues, ce qui rendrait le tricot impossible. Mais avec deux mailleuses, dont l'une est suivie d'une roue à encoches et

l'autre d'une roue d'uni, la roue d'uni faisant abattre à chaque tour les mailles doubles formées par la roue à encoches, il se produit du tricot rayé en long. Lorsqu'il s'agit de produire des dessins variés, des figures déterminées comme des losanges, des fleurs, etc., il faut nécessairement que la ou les roues destinées à former le dessin soit divisée en plusieurs séries de dents, dont l'ensemble R divise M $\pm$ une de ces séries, de telle sorte qu'à chaque tour du métier la roue se déplace sur les aiguilles de l'une de ces séries, soit en avant, soit en arrière.

Par ce moyen, la première série de la roue commence le dessin en un point donné de la circonférence du métier; au second tour, la deuxième série se place sur la première du premier tour; au troisième tour, la troisième série, et ainsi de suite.

Pour déterminer R et ses séries, on cherche d'abord les diviseurs de M. On prend pour base d'un rectangle l'un de ces diviseurs, et pour hauteur un diviseur du second facteur, augmenté ou diminué d'une unité; on aura donc :

$$M = a \times b. \quad R = a\left(\frac{b \pm 1}{n}\right) = \frac{M \pm a}{n};$$

$a =$ le nombre des séries $\frac{b \pm 1}{n}$;

n diviseur de $b \pm 1$.

Le nombre R est limité par le diamètre de la roue, qui varie en général de 0,08 à 0^{m},20, selon la place que laissent sur le métier les divers accessoires dont il est garni.

R étant déterminé, on trace l'angle, sur le papier quadrillé; on pointille sur ce rectangle la figure à produire. Les lignes horizontales des petits carreaux représentent les rangées d'uni, les intervalles de ces lignes des rangées de guilloché, et les points du dessin les encoches de la roue, les mailles doubles; les carreaux non pointés indiquent les dents de la roue qui doivent presser, dents que l'on peut désigner par le signe +, et les encoches par le signe —.

Reste à transporter ce tracé sur la circonférence de la roue, préalablement uniformément divisée en R dents +. La roue étant posée horizontalement sur une table, la douille en l'air, on marque toutes les dents qui doivent être creusées en encoche, en tournant de gauche à droite, sur la partie antérieure du limbe,

en comptant les rangées du rectangle, de gauche à droite, en commençant par le haut et en descendant, si le signe de $b \pm 1$ de la formule de la roue est $+$; en commençant par le bas et en remontant, si le signe est $-$.

Exemple de calcul d'un dessin à deux mailleuses :

$$M=820;\ a=20;\ h=41;\ R=\frac{M-a}{n}=\frac{820-20}{4}=200=20\times 10.$$

Le rectangle est par conséquent 20 sur 10. . . .

La théorie complétée des dessins de tricot se complique avec certain nombre, soit premier, soit peu divisibles, du nombre des mailleuses employées, des exigences de certains dessins spéciaux pour lesquels il faut des nombres choisis suivant des conditions données à l'avance, etc.

Il est impossible, dans un article du genre de celui-ci, d'entrer dans tous les détails que le sujet comporte. Nous ne nous sommes arrêté aux considérations qui précèdent que pour démontrer l'une des applications peut-être les plus ingénieuses et les moins connues des mathématiques à l'industrie. C'est en effet en procédant de cette façon que l'on est parvenu à produire des tricots façonnés à un prix incroyablement bas, et à multiplier considérablement leurs usages. Les étoffes pour chaussons de Strasbourg, pour camisoles, gilets d'hommes, pour jupons, etc., avec les dessins les plus variés, démontrent la fécondité et les avantages de la méthode que nous venons d'indiquer.

C'est surtout la maison Emmanuel Buxtorf, l'une des plus estimées de Troyes, qui s'est principalement occupée de la solution mathématique des questions dont nous venons de dire quelques mots. Nous devons à l'obligeance du chef de cette maison, M. Buxtorf, une collection d'échantillons des plus remarquables, produits par les roues chaîneuses de son invention, et à M. Cottel, un calculateur aussi ingénieux que modeste, une note dont nous avons extrait l'exemple ci-dessus. Nous regrettons vivement de ne pouvoir l'étendre; mais il faudrait joindre des échantillons exécutés d'après les diverses solutions, afin de les rendre plus claires, ce qui n'est pas possible.

Entrelacements spéciaux aux tricots feutrés.

Nous avons indiqué précédemment la draperie tricotée au nombre des spécialités qui constituent la bonneterie en général. Ces sortes d'articles feutrés après le tricotage donnent un tissu chaud et élastique, réunissant par conséquent deux propriétés recherchées pour certains vêtements usés dans la saison rigoureuse. Il y a, pour les tricots de ce genre, des conditions spéciales à remplir : les brides des mailles doivent être plus *traînantes*, moins tendues, de façon à ce que l'action du foulage s'exerce sur de petites duites pouvant fournir une quantité de matière suffisante à l'action du retrait du tissu. L'on tricote alors moins serré. A cet effet, au lieu de fournir le fil de laine à chaque aiguille, comme cela a lieu avec les mailleuses ordinaires, pour faire des tricots unis, l'alimentation par les becs n'a lieu que de deux en deux, de trois en trois, ou de quatre en quatre aiguilles.

Mais comme il faut toujours que toutes les aiguilles de la fonture soient également fournies, il s'ensuit que pour former ce qu'on nomme *un système*, il faut deux mailleuses dans le premier cas, trois dans le second et quatre dans le troisième.

Il résulte de ce tricotage par système de mailleuses un article dont les entrelacements forment plus ou moins de brides, dont les figures 14, 15 et 16, du texte, donnent une idée assez exacte.

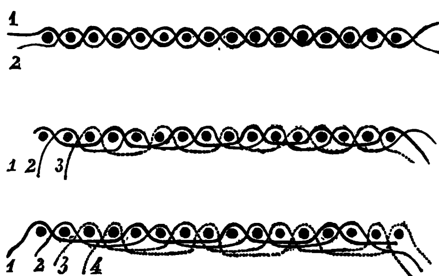


Fig. 14, 15 et 16.

La réunion de ces brides facilite singulièrement le foulage. On voit en effet que des tricots de ce genre se composent d'un ensemble d'entrelacements dont les points de tension des fils

supplémentaires sont placés à des distances plus éloignées que dans le tricot ordinaire, où le cueillage a lieu sans modification.

Ce système de travail permet de plus, de modifier les apparences de l'étoffe, il suffit à cet effet de faire travailler chaque mailleuse *Braconnier* (nom de l'inventeur du système) avec un fil d'une couleur différente pour obtenir des rayures plus ou moins compliquées en raison du nombre de mailleuses du système.

Mais la fonction essentielle des roues dites *chaîneuses*, et qui devraient se nommer *trameuses*, consiste à fournir un fil transversal supplémentaire, destiné à rentrer aux apprêts. La trame étant l'élément principal sur lequel agit l'action du foulage dans les tissus feutrés en général.

Une chaîneuse, pour nous servir du nom consacré, ne s'emploie donc jamais seule, mais suit toujours une mailleuse quelconque; sa fonction est d'intercaler au tricot fait par la mailleuse le fil supplémentaire dont il vient d'être question. Ce fil, plus particulièrement employé en vue du feutrage, est ordinairement le plus gros, le plus moelleux. Il est destiné à garnir l'envers du duvet que les apprêts sauront mettre en évidence.

La chaîneuse la plus ordinaire est une petite mailleuse de 60 à 80 dents, divisée : +—+— ou +——+—— ou +———+———+ etc. Pour obtenir des effets plus compliqués, il faut avoir recours à la chaîneuse fantaisie d'un plus grand diamètre. La méthode la plus précise et la plus prompte est sans contredit celle de M. Cotelle, précédemment décrite, et employée pour la première fois dans les métiers de M. Buxtorf.

Mailleuse spéciale pour faire des tricots façonnés à jours.

Cette sorte de mailleuse est plus particulièrement connue sous le nom de *mailleuse à presse*. Elle consiste en effet dans une mailleuse Jacquin grand modèle, divisée en partie en dents mobiles, comme une mailleuse ordinaire, et en partie en dents de roue de presse; elle fournit par conséquent le fil à certaines aiguilles, et presse les becs des autres. Il faut donc, pour constituer un système ou un abatage, deux mailleuses divisées à l'opposé

l'une de l'autre, la seconde fournissant du fil aux aiguilles qui n'en ont pas reçu de la première, et pressant au contraire les aiguilles auxquelles la première a fourni de la maille.

Cette mailleuse peut remplacer avec avantage la mailleuse Braconnier, elle donne des mailles plus allongées, plus souples, plus propres au foulage. Elle est surtout en usage avec avantage pour les articles chaussons de Strasbourg.

Roue à excentrique à dessins isolés.

M. Buxtorf, inventeur de la mailleuse précédente, a également imaginé celle-ci ; son application remonte au mois de février 1860. Elle permet de faire une bande de dessin en un seul endroit de la circonférence du métier, quel que soit le diamètre de ce dernier. Un pareil résultat exigerait des roues à dessins de grandeur impossible par les moyens ordinaires, tandis que l'inventeur y arrive par une roue de dimension ordinaire pour laquelle le nombre R est toujours un diviseur de M. Elle porte sur la circonférence des dents mobiles qui, lorsqu'elles rentrent vers le centre, font l'office d'encoches. Un excentrique, enfermé dans une boîte adaptée à cette roue, fait rentrer les dents mobiles et les ramène ensuite à leur place. La boîte qui porte cet excentrique est dentée, et reçoit le mouvement d'un pignon sur l'arbre duquel est une conductrice qui engrène avec les aiguilles ; le mouvement est tel, que l'excentrique en question ne fait qu'un tour pour un tour du métier, et par conséquent ne peut agir utilement qu'une fois sur la circonférence des aiguilles. Cette roue s'emploie surtout pour simuler de la lisière sur le drap tricot. On pourrait obtenir d'autres effets, déterminer par exemple une seule bande oblique qui tournerait en spirale autour du tricot en modifiant le rapport du nombre des dents du pignon et de la boîte.

Roues jumelles pour dessins espacés.

Pour produire certains effets façonnés, des losanges très-espacés les uns des autres, par exemple, imitant des impressions ou des applications sur tricot, pour l'exécution desquels les moyens ordinaires seraient impraticables parce qu'ils exigeraient des roues avec des diamètres considérablement plus grands

que celui du métier sur lequel elles sont adaptées, la difficulté a été tournée au moyen de l'emploi de deux roues R et R' (*fig.* 17) du texte de diamètres différents agissant en même temps sur les mêmes aiguilles, R divisant M + 1, R' divisant R M — 1, de sorte qu'à chaque tour du métier chacune de ces roues *chevale* d'une aiguille, l'une en avant et l'autre en arrière.

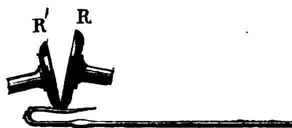


Fig. 17.

Si chacune de ces roues travaillait seule avec des encoches à guillocher, elle produirait des raies obliques, l'une dans un sens, l'autre dans un sens opposé. Mais les deux travaillant ensemble, pressant, comme nous l'avons dit, les mêmes aiguilles en même temps, et tournant à des vitesses angulaires différentes, ne peuvent guillocher que lorsqu'une encoche de l'une coïncide avec une encoche de l'autre, ce qui n'arrive qu'à des périodes plus ou moins éloignées, et produit les effets espacés en vue desquels le mécanisme a été combiné.

Ordinairement, l'une de ces roues est encochée sans interruption dans toute une moitié de sa circonférence; l'autre a toute sa moitié sans encoches, l'autre moitié divisée + — + —. On arrive également de cette façon à certains dessins imitant des petits façonnés, comme les piqués, par exemple.

Puisque nous avons été amené incidemment à parler des ingénieux résultats et des recherches persistantes de M. Buxtorf, l'un des derniers venus et des plus ingénieux constructeurs de métiers de Troyes, nous ne pouvons terminer cet article sans mentionner ceux auxquels la même spécialité est depuis longtemps redevable.

Le modèle historique exposé dans les galeries du Conservatoire des modifications successives introduites dans la fabrication des métiers circulaires depuis environ trente ans, démontre la large part qui revient à M. Gillet dans ce genre de progrès. Les métiers de ce constructeur et ceux de M. Berthelot, de la

même ville, sont employés dans presque toutes les villes industrielles de l'Europe qui font du tricot, sans en excepter l'Angleterre. Cette constatation est la preuve la plus éclatante de la valeur de leurs travaux. Nous avons déjà indiqué le service rendu par M. Jacquin par l'invention de sa roue. Le nom de son fils s'est également présenté à plusieurs reprises sous notre plume en parlant de diverses créations originales de M. Tailbouis, dont une part lui revient. Quant aux perfectionnements obtenus par ce dernier dans les divers systèmes circulaires et rectilignes, dans la bonneterie ordinaire aussi bien que dans les articles les plus élégants, sa position particulière y a contribué. Constructeur spécial des métiers et fabricant de tricots, cet industriel a l'avantage de pouvoir faire passer ses machines immédiatement à l'essai pratique, et *vice versâ*, d'avoir directement à sa disposition les éléments nécessaires pour réaliser les conceptions nouvelles et rationnelles du praticien qui met les métiers en œuvre. Cette heureuse combinaison a contribué pour sa part à placer M. Tailbouis à la tête de sa spécialité. A son nom, et à ceux déjà cités, il y en aurait beaucoup d'autres à ajouter, dont les auteurs ont contribué plus ou moins aux progrès signalés précédemment. En première ligne de cette pléïade de chercheurs utiles et presque tous ignorés, il est juste de citer *Delarothière*, inventeur, il y a près de trente ans, en 1834, d'un mécanisme généralement utilisé aujourd'hui même dans les métiers rectilignes à fontures multiples les plus perfectionnés. Dans le principe ce mécanisme a pour but, et on doit à son emploi presque général à la bonneterie fine la suppression de la couture qu'on apercevait à tous les bas fins, et qui se voit encore aux bas communs de chaque côté du pied. Ce résultat est obtenu par le mécanisme Delarothière, grâce au mouvement imprimé à deux porte-aiguilles, qui, partant des extrémités opposées du mécanisme, se rapprochent graduellement et également du point milieu de cet appareil où ces deux porte-aiguilles se rejoignent, à la volonté de l'ouvrier, dans les métiers à la main, et au moyen d'une transmission mécanique dans le travail automatique.

Cet appareil additionnel a, sous le rapport de son assemblage avec le métier, et de son fonctionnement, une analogie avec ce qu'on nomme la presse de Berlin. Il n'en diffère que par la divi-

sion et la marche des aiguilles. Elle est progressive dans l'appareil à diminution, chaque jeu d'aiguilles allant en se déplaçant d'une maille jusqu'à ce que les deux parties se rejoignent, c'est-à-dire jusqu'à ce que la pointe soit remaillée. Dans les presses à tricot de Berlin, les broches qui ramassent les mailles sur les aiguilles fixes, équidistantes, forment une seule rangée agissant toujours au même point.

M. Delarothière a apporté de nombreuses modifications à son appareil; il l'a rendu si parfait qu'il est devenu un organe indispensable des métiers rectilignes. Et si, comme tant d'autres modestes et utiles inventeurs, il n'a pas participé aux résultats avantageux que procure sa découverte à l'industrie, s'il n'a pu en tirer de quoi finir en repos son utile carrière, il a du moins la satisfaction, assez rare dans les cas semblables, de voir son invention se propager sous son nom. Dans la spécialité, la *machine Delarothière* est appréciée depuis longtemps à l'égal des outils les plus usuels et les plus nécessaires.

Le métier imaginé par un sieur *Jouve*, dont l'invention est également désignée parfois sous le nom de métier de *Falaise*, où il a été construit pour la première fois, est, si nous ne nous trompons, un des premiers tricoteurs circulaires à platines, commandé par un rail. C'est par conséquent le point de départ des divers systèmes de ce genre dont nous avons fait ressortir les principales modifications et propriétés.

MM. *Sellier* et *Freycinet*, une douzaine d'années après, vers 1850, ont cherché à modifier le métier Jouve de façon à en obtenir entre autres résultats des tricots bouclés. Mais il était réservé à M. Gillet de réaliser un si délicat problème de la façon la plus complète et la plus heureuse. C'est encore à lui et à MM. Fouquet et Mothe que sont dues la conception et l'exécution des divers systèmes de mailleuses à dents mobiles, à cônes tronqués, comme nous l'avons déjà dit.

Au nombre des plus ardents perfectionneurs de métiers automatiques à pièces multiples, il faut encore citer M. Poivret, de Troyes, etc., etc.

Dans une autre spécialité de la bonneterie, celle si utile des tricots contre les varices, ce n'est pas le nom le plus connu comme vendeur de ces produits que nous avons à signaler, mais celui d'un fabricant modeste de Paris, M. Ducourtioux, qui est

arrivé à faire faire un progrès inattendu à son industrie grâce à des efforts constants et à des moyens fort ingénieux, dans les détails desquels il est impossible d'entrer ici; mais les *Bulletins de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* les mentionnent d'une façon précise et complète.

Quoique nous ayons touché à bien des points de notre sujet, nous sommes loin de l'avoir épuisé; nous serions heureux d'avoir fait comprendre l'étendue, l'importance et l'intérêt de la spécialité industrielle dont il traite et dont il a été à peine question dans les traités techniques depuis plus de 70 ans.

DU PAPIER

A l'occasion de l'Exposition universelle de 1862,

Par M. BARRESWILL.

On ne saurait rien signaler de réellement nouveau dans l'industrie de la papeterie, et pourtant la période de 1851 à 1861 est celle qui marquera le plus dans son histoire.

Le papier est fabriqué aujourd'hui comme il l'était il y a onze ans ; on n'emploie pas une matière qui n'ait été connue en 1851; on n'a pas proposé un moyen qui n'ait été mis en œuvre à cette époque; la préparation des chiffons se fait aussi de la même manière : on lessive, on blanchit aujourd'hui comme alors; la machine n'est pas autre qu'elle était; le rendement maximum alors connu n'est pas maintenant dépassé; le papier n'est ni plus beau, ni meilleur, ni mieux collé; j'ajouterai qu'il n'est pas mieux garni ni autrement falsifié, et pourtant on peut dire qu'il s'est accompli une véritable révolution dans la papeterie!

Voici ce qui a eu lieu :

Ce qui était l'exception est devenu la règle. Aujourd'hui les chiffons sont partout récoltés avec soin, triés avec attention, délissés avec intelligence, comme ils l'étaient dans quelques rares manufactures. L'époussetage, le lessivage et le blanchissage se font partout avec méthode et comme l'entendait en 1851 un petit nombre de fabricants. Dans toutes les manufactures, on est au courant des difficultés de collage; on connaît les procédés de coloration; dans toutes on sait employer le kaolin et le sulfate de chaux.

Tous les fabricants sont d'accord aujourd'hui pour reconnaître que le point important est de diminuer les frais généraux

en augmentant la production ; chacun s'efforce de réduire les chômages, et chez tous la vapeur vient en aide à la force d'eau.

On se rend compte que pour faire de bon papier à bon marché il faut non-seulement tirer le meilleur parti de ses matières, mais encore faire rendre le plus possible à la machine, et que pour atteindre ce but il est nécessaire que la machine soit largement servie ; aussi tous les fabricants ont-ils considérablement augmenté leur matériel producteur de pâte.

Il n'est pas un perfectionnement qui, introduit dans une fabrique, n'ait passé rapidement dans une autre, soit parce qu'il provenait d'inventeurs étrangers, qui le livrent à tous, soit parce que des fabricants libéraux, parmi lesquels c'est un grand plaisir pour moi de citer MM. Godin de Huy (Belgique), font part à leurs confrères de tout ce qu'ils savent, de tout ce qu'ils innovent.

Aussi doit-on dire aujourd'hui que tous les fabricants peuvent également bien faire du papier très-bon, très-beau, très-blanc, et que bientôt le seul point qui permettra de distinguer les producteurs entre eux sera la spécialité qu'ils adopteront, chacun arrivant à produire, dans les conditions où il se trouve, un papier déterminé par la nature de ses approvisionnements, les conditions de main-d'œuvre et de combustible, ou par le débouché que peut recevoir la marchandise fabriquée.

Matières premières. — Le chiffon est encore aujourd'hui la base de la fabrication du papier ; le commerce de cet article devient semblable à tous les autres. Ce n'est plus qu'exceptionnellement que les marchands trouvent des chiffons en échange de verreries, de porcelaines, de cotonnade ou de menue mercerie. C'est une denrée qui a cours ; le public vend contre argent. Il résulte de ce fait important que le chiffon est plus exactement recueilli et mieux conservé. On pourrait peut-être tirer de cette situation un excellent parti pour la papeterie. Le récolteur de chiffons devrait amener le vendeur à trier, à assortir et à délisser ses chiffons. Le travail, ainsi réparti sur le producteur, se ferait très-rapidement, et on sait que le délissage est une des opérations qui causent le plus d'embarras aux usines, en raison de la main-d'œuvre qu'il exige.

Les cordes non goudronnées et même goudronnées, les filets de pêche, les déchets de filature, ont pris rang parmi les chiffons

et sont d'une vente courante; ces derniers ont même donné lieu à l'établissement d'une fabrique spéciale au centre de la filature du lin. Ces matières, gorgées d'eau, exigeaient une dépense considérable en transports, on les utilise pour ainsi dire sur place. L'aloès, qui forme l'emballage ordinaire des chiffons, est employé comme ceux-ci; il demande toutefois un travail plus coûteux.

La pâte de bois est aujourd'hui utilisée en Belgique sur une large échelle. La machine qui la prépare est celle de M. Wœlter; le bois, débité en rondins sains, décortiqués, privés de nœuds par la gouge, est pressé par une meule verticale, qui le contond et l'effile; un courant d'eau entraîne la pulpe de bois, dont le broyage est achevé à la meule horizontale. Cette pâte de bois, principalement celle qui est faite avec le hêtre, est ajoutée *directement* en mélange à la pâte de chiffons,

Le papier qui en résulte a quelque qualité; j'en ai vu qui, fabriqué avec 30 de pâte de chiffons, 10 de rognures, 30 de pâte de bois et 30 de kaolin avait encore une certaine ténacité et pouvait servir à l'impression de journaux à bon marché.

La pâte de bois ne peut être obtenue que dans des conditions spéciales; les déchets sont considérables, et la trituration demande une force énorme. On établit les usines à pâte, là où l'on trouve une chute d'eau non utilisée, du bois en abondance et une main-d'œuvre à bon marché. Toutes ces conditions sont réalisées en Belgique, dans l'usine dont M. Demeure de Cortes exploite les produits.

Le bois ne convient guère que pour les sortes où il peut être mêlé directement à la pâte, parce que, lessivé et blanchi, il revient à un prix excessif. C'est cette raison, sans doute, qui a ajourné les intéressants essais de MM. Machard et Bachet, qui proposaient de désagréger le bois par les acides, dans le double but de préparer la pâte et de saccharifier la matière incrustante pour obtenir de l'alcool.

La paille, le foin, le maïs, les ajoncs, les aiguilles de pin, un nombre infini de fibres de végétaux, ont été successivement mis à l'étude; tous avaient été déjà proposés, lorsque Robert, mécanicien à Essonne, a inventé la machine à papier; alors déjà, comme aujourd'hui, on croyait le chiffon insuffisant pour les besoins.

Toutes ces matières peuvent servir aussi bien que le bois pour faire du papier ; elles donnent même des résultats très-sérieux ; on en obtient de fort beaux produits. C'est ainsi que le Catalogue autrichien a été imprimé sur papier de maïs; c'est ainsi que l'on trouve dans le commerce des livres tout entiers en papier de paille de blé ou de paille de colza mélangées d'une quantité variable de pâte de chiffons.

Aucune difficulté pratique n'arrête dans l'emploi de ces divers succédanés du chiffon ; il suffit, pour obtenir un succès relatif, de se renfermer très-exactement dans les procédés de Berthollet, de suivre toutes ses indications : la succession régulière des lessivages et blanchiments répétés, la régénération des lessives, tout en effet a été indiqué par l'illustre chimiste. Ce qui sérieusement arrête le fabricant, c'est la mobilité du prix de ces matières premières ; c'est aussi le haut prix des produits chimiques, l'énormité du déchet.

Je ne saurais dire si aucune fabrique, à moins qu'elle ne se trouve dans des conditions exceptionnelles, pourrait opérer d'une manière régulière le traitement de l'une de ces matières auxiliaires du chiffon ; mais je crois que toutes les fabriques feront bien de se mettre à même de traiter l'une ou l'autre de ces matières, selon le besoin ; comme les distilleries se montent pour opérer sur le riz, le grain, la betterave, la mélasse, selon ce que permet le marché. Ce que je sais, c'est qu'un de nos plus habiles ingénieurs s'est déjà occupé des aiguilles de pin ; qu'une de nos grandes usines de produits chimiques a monté des ateliers de préparation de pâte à livrer aux papeteries ; elle a sous la main les produits chimiques et les matières premières. Une difficulté pourrait l'arrêter, celle d'essorer la pâte et de la sécher pour en rendre le transport facile et économique ; mais j'ai déjà vu un échantillon d'une pâte sèche, dure, sonore et se délitant facilement ; aussi puis-je dire que si ce problème n'est pas industriellement résolu, il est prêt de l'être.

Matières accessoires. — Indépendamment des matières plus ou moins filamenteuses qui peuvent suppléer au chiffon, on emploie dans la fabrication du papier des substances accessoires généralement pulvérulentes, dans le but d'augmenter la fermeté du papier, de lui donner de la main, et souvent, il faut bien en convenir, d'ajouter à son poids. L'emploi de la fécule de pom-

mes de terre est aujourd'hui général. Je crois qu'il y a du bon dans cette pratique : la fécule donne du craquant au papier; peut-être même ajoute-t-elle au collage et donne-t-elle plus de force, surtout si on applique le système si ingénieux de M. Godin, l'initiateur du plus grand nombre des perfectionnements dans la papeterie. Ce système consiste à faire servir indéfiniment la même eau, méthodiquement utilisée, dans la composition des diverses pâtes.

Le sulfate de baryte, le kaolin, le sulfate de chaux, n'ont pas d'autre effet que de *garnir* le papier. L'abus de ces matières est fâcheux, et l'emploi lui-même, dans des proportions minimes, est déplorable, lorsqu'on ne sait pas les appliquer ; mais on ne saurait condamner l'addition bien entendue de ces poudres, dans les papiers d'un usage de peu de durée, tels que papiers de tenture, papiers d'affiches et journaux.

La présence des matières pulvérulentes est une gêne pour l'imprimeur, lorsqu'elles déchargent sur le caractère; mais elle est, au contraire, un avantage lorsque ces matières sont bien adhérentes, en quantité minime, attendu qu'elles facilitent l'impression, en soutirant l'encre par un effet de capillarité. Il faut, en tout cas, flétrir l'usage que l'on fait du sulfate de baryte et surtout du sulfate de plomb, dans le but de faire du papier lourd, destiné à envelopper la marchandise qui est pesée avec son enveloppe. On ne saurait traiter trop durement ces fabricants dont les placiers vont développer aux détaillants les mérites de ce surpoids frauduleux ; les moins honnêtes leur cèdent les premiers, et la concurrence sans limite entraîne bientôt les autres.

Collage du papier. Le collage du papier à la cuve est toujours presque exclusivement employé. En France, il a fait des progrès sérieux, et l'emploi d'un nouveau produit industriel, l'*aluminate de soude*, va faire faire à cette intéressante question un pas nouveau. Il est à propos que les fabricants se préoccupent de chercher un substitut à la colophane, dont la guerre d'Amérique a réduit la production et qui a acquis, pour cette cause, une plus-value énorme.

Le collage à la gélatine est plus spécialement pratiqué en Angleterre; toutefois il commence à s'introduire en France, et le prix qu'a atteint la résine pourra bien aider à propager cette

méthode, si bien expliquée et minutieusement décrite dans le Précis de Chimie industrielle de M. Payen. Quelques fabricants opèrent à la fois par les deux procédés, et collent à la gélatine le papier déjà collé à la cuve. Cette seconde opération se fait, paraît-il, à la machine, aussitôt après le séchage : le papier est *matté* en gélatine, au rouleau, comme le sont les tissus, et séché à la chambre chaude, comme cela se pratique dans les fabriques d'indienne.

Coloration du papier. Les papiers de couleur sont teints dans la cuve ou peints à la brosse. L'exposition en présentait des spécimens fort remarquables; les gammes étaient très-complètes et très-riches. C'étaient bien les couleurs déjà connues, mais elles avaient reçu de notables perfectionnements dans la fabrication et dans leur emploi ; l'outremer surtout s'est montré, aux essais, plus riche qu'on ne l'avait vu jusqu'ici. Les nouvelles et si riches couleurs provenant de la rosaniline ont été l'objet déjà de quelques intéressantes applications.

Apprêts du papier. Les apprêts du papier, le satinage, le façonnage ont été aussi très-perfectionnés dans ces dernières années, et le bon marché, qui fait le grand débit, a pu être atteint sans perte sur la qualité.

La curieuse propriété que possède le papier de prendre du retrait sous l'action de l'acide sulfurique, propriété dont nous devons la révélation à MM. Figuier et Poumarède, a été entre les mains de M. Warren-Delarue l'objet d'une industrie spéciale à laquelle les beaux travaux de M. Graham sur le dialyse donneront une importance considérable. Le papier parcheminé, dont la consommation s'accroît chaque jour, est fabriqué maintenant en France. Cette fabrication est de date toute récente; elle promet beaucoup.

Je crois devoir signaler, pour finir, le papier albuminé destiné à la photographie. L'extension que prend la consommation de ce papier est telle qu'on m'a cité trois maisons faisant ensemble plus de 300,000 fr. par an avec ce seul article.

Telle est, exposée à grands traits, l'impression que j'ai reçue de l'Exposition de Londres, vue dans son ensemble. Les rapports que chaque commission nationale a donnés dans son pays peuvent seuls entrer dans des détails qui n'appartiennent pas à ce recueil. Je crois devoir y renvoyer le lecteur, qui devra con-

sulter aussi le tableau des récompenses, pour se fixer sur le mérite particulier de chaque fabricant, en tenant compte toutefois de l'explication suivante, donnée par le rapporteur français :

« Le jury international a rendu justice à la perfection de notre « fabrication, puisqu'il a accordé des récompenses à tous nos « exposants. Quelques-uns d'entre eux peut-être, qui en 1855 « avaient obtenu de hautes distinctions, comptaient sur un hon- « neur plus grand que celui d'être honorablement mentionnés « en 1862. Les raisons du jury méritent d'être connues, *afin « d'éviter que les exposants futurs n'éprouvent des déceptions qu'au- « trement rien ne ferait prévoir.*

« Le jury a donné une valeur considérable, dans ses appré- « ciations, à la *qualité absolue de la matière* et à la *perfection de « la fabrication;* il a paru tenir un compte très-minime des « quantités fabriquées annuellement et des prix de vente. »

Il ne saurait être permis de discuter ce principe, admis par le jury, de ne rien voir au delà de la marchandise exposée; et je comprends, à ce point de vue absolu, certaines exclusions; mais je crois interpréter fidèlement le rapport, en disant que les mêmes jurés ne les eussent pas prononcées, s'il se fût agi d'une exposition nationale, attendu qu'il eût été alors facile de se renseigner *de visu* et de pondérer les mérites relatifs et si divers des fabricants, au lieu de tenir un compte exclusif du mérite des échantillons.

Que les exposants se tiennent pour avertis, et qu'à l'avenir ils envoient pour les concours internationaux, non pas seulement ce qu'ils vendent, mais encore ce qu'ils peuvent faire.

DE LA CONSTITUTION MOLÉCULAIRE

DES CORPS

Compatible avec la théorie mécanique de la chaleur,

PAR M. CH. LABOULAYE.

INTRODUCTION.

Les savants qui ont poursuivi, par la voie mathématique, les conséquences du principe de la théorie mécanique de la chaleur, du grand fait, admis comme bien démontré par nombre d'expériences, de la conversion du travail mécanique en chaleur ou inversement, se sont pour la plupart félicités de ne faire aucune hypothèse sur la nature de la chaleur, de se contenter de la seule conception du fait primordial que nous venons de rappeler. Cette manière de raisonner est bien conforme aux idées régnantes aujourd'hui dans la science, d'où l'on s'efforce, avec grande raison, d'écarter autant que possible toute hypothèse qui n'est pas absolument nécessaire.

Il est facile de démontrer toutefois que, dans le cas actuel, on exagère l'application d'un principe vrai, et qu'il est impossible de poursuivre les recherches physiques qui se rapportent aux phénomènes calorifiques, sans analyser la nature de la chaleur; qu'il ne suffit pas de la dire autre que celle qu'on définissait en admettant l'existence du calorique. Ainsi, le rôle attribué à celui-ci n'étant plus rempli quand la théorie mécanique de la chaleur est admise, que devient la conception de la constitution des corps, formulée par Lavoisier et professée universellement depuis lui? On ne peut plus dire que les corps formés de molécules douées d'attraction mutuelle sont solides, liquides ou gazeux, suivant qu'une quantité de calorique,

fluide éminemment élastique, est incorporée, combinée avec chacune d'elles; que devient cet édifice si le calorique n'existe pas? On ne peut donc adopter la nouvelle théorie de la chaleur, sans remanier aussitôt la base de toute la physique, la notion de la constitution des corps intimement liée avec le mode d'action de la chaleur, constitution sur laquelle repose l'analyse de tous les phénomènes qui sont l'objet de la mécanique physique. Comment analyser les propriétés des corps, sans indiquer leur mode de constitution qui permet de s'en rendre compte? C'est toujours par là que débutent forcément tous les traités de physique et de chimie, et en réalité on ne peut échapper à la nécessité absolue de formuler bientôt les hypothèses qu'on voulait d'abord éviter.

Mais il y a mieux, ce nous semble : le point de départ admis, *la conversion du travail mécanique en chaleur, ou réciproquement*, comprend implicitement les principes qu'il s'agit de formuler. En effet, cette conversion démontre d'une manière absolue, incontestable, l'homogénéité de ces deux ordres de grandeurs. De là, et comme conséquence nécessaire de la généralité du principe de la conservation des forces vives, résulte une vérité qui frappe vivement, par suite de son évidence même, les esprits les plus distingués qui se livrent habituellement à l'étude de la mécanique, lorsqu'ils viennent à étudier la théorie de la chaleur; c'est que nécessairement (comme un savant professeur de mécanique, M. Bellanger, qui s'est récemment occupé de la théorie mécanique de la chaleur, l'a bien nettement formulé) sa conséquence forcée est que la chaleur est une *force vive moléculaire*, et que le principe des forces vives fournit le point de départ forcé de l'étude mécanique des phénomènes calorifiques. La disparition correspondante de forces vives et l'apparition de chaleur dans divers cas, ou l'effet inverse dans d'autres, conduisent nécessairement à cette conclusion tout esprit qui a compris la certitude et la généralité du *principe de la conservation des forces vives*.

D'ailleurs, si, comme on ne peut en douter depuis les expériences de Rumford, la chaleur est dans les corps une vibration des molécules dont les mouvements sont composés de périodes de sens successivement opposés, ne déplaçant pas le centre de gravité des corps, n'étant pas par suite perceptibles sous forme

de quantité de mouvement sensible à l'extérieur des corps, on arrive encore par une autre route à être convaincu qu'elle répond à une quantité de force vive. Une semblable notion à laquelle on parvient par plusieurs chemins différents suffit, convenablement interprétée, pour fournir le moyen d'analyser la constitution interne des corps, et réciproquement une idée juste de cette constitution conduit à une explication satisfaisante des phénomènes calorifiques. Je crois que l'on reconnaîtra facilement que les plus grandes difficultés que présente à l'esprit la théorie mécanique de la chaleur s'évanouissent, en effet, si on fait, au début, une analyse satisfaisante de la nature des forces vives moléculaires des corps.

Sans doute, on peut se contenter, comme on l'a fait dans quelques récents traités de physique, d'énoncer le principe que lès molécules constitutives élémentaires des corps obéissent à la fois à leur attraction mutuelle et à la *force répulsive* de la chaleur, en remplaçant ainsi par une expression vague, l'idée si nette du calorique qui, pour Lavoisier et Laplace, était un gaz parfait, doué d'une élasticité très-grande, qui s'unissant aux molécules des corps leur communiquait ses propriétés. Mais est-ce faire avancer la science que de se garder d'expliquer en quoi consiste cette force répulsive? n'y a-t-il pas grande utilité à rechercher comment, suivant toute probabilité, elle prend naissance?

J'insisterai sur ce point, parce que c'est l'opinion de nombre de savants distingués qu'il n'y a pas utilité à se poser de semblables questions, et je l'ai entendu professer par le savant français, qui est la plus haute autorité dans les questions qui se rapportent à la chaleur. Dans une de ses dernières leçons au Collége de France, M. Regnault examinant les idées fondamentales de la théorie mécanique de la chaleur (sans entrer dans l'examen des questions de mécanique physique où il faut nécessairement tenir grand compte du mode de constitution moléculaire des corps) énonçait ce principe, que l'idée de la transformation de la chaleur en travail devait être considérée comme une hypothèse à vérifier par l'expérience, et qu'il était inutile d'en formuler d'autres. Cette hypothèse à laquelle on arrive comme à une conséquence de faits qui prouvent que la chaleur dans les corps est un mouvement vibratoire, ce qui conduit par suite à

l'application de la loi *de la conservation du mouvement* (sic), lui paraît d'une grande probabilité; mais il ne voit pas l'utilité de rechercher comment les phénomènes peuvent se passer, à cause des difficultés de la question qui se rapportant aux premiers éléments des corps, est à peu près inabordable par l'expérience. Nous croyons qu'il n'y a aucun intérêt à reculer ainsi devant les difficultés, et nous pensons qu'il est tout à fait fâcheux que les personnes les plus capables d'indiquer ce qui existe le plus probablement s'abstiennent de le faire, car elles ne sauraient empêcher ceux qui débutent dans la science de le tenter, et par suite de mêler bien des notions erronées à quelques vérités. Lorsqu'on va enseigner dans tous les cours de physique, ce qui ne peut manquer d'avoir lieu dès aujourd'hui pour tous les professeurs au courant de la science, que dans une machine à vapeur le travail engendré par la vapeur correspond à la *consommation* d'une quantité de chaleur, à sa *transformation* en un travail mécanique, comment empêcher les jeunes intelligences auxquelles on exposera un fait si capital, une métamorphose si extraordinaire entre quantités hétérogènes à première vue, de se demander *comment* cela peut avoir lieu? Aura-t-on gagné quelque chose à refuser systématiquement d'entrer dans aucune explication, et celle-ci ne doit-elle pas ressortir par voie de déductions infiniment probables, sinon certaines, de l'analyse des faits constatés par l'expérience? S'il n'y a dans tout ceci que des phénomènes d'ordre mécanique, cette science est assez avancée pour donner le moyen de remonter des effets à leur cause.

Il faut bien remarquer qu'une semblable étude n'est nullement de pure curiosité. Les sciences physiques progressent à la fois par les expériences exactes qui permettent de formuler des théories, et par ces théories qui conduisent à tenter de nouvelles expériences qui guident dans des voies inconnues. Or, si dans le cas important de la production du travail mécanique à l'aide de la chaleur, on peut se contenter de l'énoncé du fait de la disparition d'une quantité de chaleur proportionnelle à la quantité de travail engendré, pour toutes les autres questions, pour faire progresser la science, la nouvelle théorie sera stérile si on veut en quelque sorte l'anéantir en la limitant exclusivement à l'énoncé du fait expérimental; elle ne pourra guider en

rien, et un grand progrès de la science n'entraînera aucun développement de la théorie capable de permettre d'avancer plus loin qu'on n'est encore arrivé pour la solution de magnifiques problèmes, qui semble cependant être proche. De quel secours, au contraire, quelques principes bien probables de mécanique moléculaire ne seront-ils pas, par exemple pour fonder la mécanique chimique, cas qui rentre évidemment dans le domaine de la théorie mécanique de la chaleur, celle-ci se produisant en même temps que des combinaisons s'effectuent ou se détruisent, c'est-à-dire que du travail est consommé ou produit[1].

C'est l'étude de semblables questions qui, nous ayant montré sans cesse l'analyse des phénomènes calorifiques comme se réduisant à celle des mouvements moléculaires, nous a conduit à chercher à établir la nature probable de ceux-ci dans les divers états physiques des corps. Dans ce cas, comme dans une infinité d'autres, on ne doit pas renoncer à analyser des faits, par cela seul qu'ils ne sont pas saisissables à nos sens ; l'esprit peut parfaitement concevoir ce que l'œil ne voit pas, et les applications d'une semblable conception à des phénomènes multiples concorder si bien avec les résultats de l'expérience, que la démonstration de la parfaite vérité de ce que l'esprit a vu en résulte complétement. C'est ce qui a lieu dans une foule de cas, et par exemple, on ne voit pas plus l'éther lumineux que les vibrations moléculaires des corps.

Il me paraît d'autant plus possible de tenter le genre de travail dont il s'agit qu'il suffit d'admettre, pour toute hypothèse, le principe parfaitement certain, fondamental de la théorie mécanique de la chaleur, que la chaleur est dans les corps une force vive moléculaire. Déjà une ingénieuse théorie de la constitution des corps gazeux, fondée sur le seul mouvement de leurs molécules, est assez généralement admise et elle entraîne presque nécessairement celle des corps liquides et solides que nous allons indiquer, lorsque la quantité de chaleur diminuant, la liquéfaction et la solidification se produisent par l'intervention bien manifeste des forces d'attraction.

J'essayerai d'établir ces principes en m'écartant peu du mode

1. Voir le premier essai que j'ai tenté dans cette voie, article PRODUCTION DE LA CHALEUR, *Complément du Dictionnaire des Arts et Manufactures.*

d'exposition qu'on devrait suivre si on avait à commencer un cours sur la théorie mécanique de la chaleur (cours dont la création serait si utile et si urgente aujourd'hui, pour vulgariser tant de notions aussi importantes que peu répandues), en ne partant que de connaissances admises, relatives aux phénomènes les mieux connus, à ceux qui font l'objet de la mécanique physique, qui se produisent en raison de la manière dont les corps résistent aux actions mécaniques. Il me semble que j'arrive ainsi à quelque chose d'aussi satisfaisant que ce qui était admis sous le règne de la théorie du calorique, sans rien poser d'incompatible avec les progrès récents de la science; que je parviens à formuler un système qui doit faire éviter bien des erreurs pour aller plus avant. Il revient à remplacer l'ancienne constitution statique qui suppose un état de repos impossible *dans* la nature, par une interprétation forcée de phénomènes dynamiques dont l'existence est incontestable.

Peut-être cependant me reprochera-t-on un peu d'audace en quelques parties de ce travail; mais, en appelant les recherches et la discussion sur ces importantes questions, je crois faire un travail éminemment utile. Je le répéterai en terminant : c'est la constitution moléculaire des corps mieux entendue, qui peut seule permettre de constituer logiquement la théorie mécanique de la chaleur sous une forme synthétique, et de tirer de ce grand progrès scientifique tout ce qu'il peut permettre d'obtenir.

§ I. — Principes fondamentaux de mécanique.

La réduction à la mécanique d'une théorie physique ne peut être effectuée (c'est à réaliser ce progrès définitif que tend la théorie mécanique de la chaleur), et les conséquences qu'on en peut tirer ne sauraient être utilisées qu'autant qu'on applique convenablement les principaux théorèmes de la mécanique.

Sans vouloir les démontrer ici, je rappellerai les principes généraux spécialement applicables à ce qui va suivre. J'insisterai sur les notions fondamentales du travail et de la force vive, sur la nette conception desquelles on a construit presque tout l'édifice de la mécanique appliquée.

Proportionnalité des forces aux accélérations. — Le point de départ de la science mécanique, conception logique confirmée par l'exactitude des résultats auxquels elle conduit, est le principe de l'*indépendance des mouvements*, de leur superposition qui permet d'établir les compositions et décompositions des mouvements et d'en déduire logiquement : *la proportionnalité des causes de mouvement ou forces, aux accélérations qu'elles produisent et aux masses des corps*, c'est-à-dire à la relation fondamentale

$$(1) \qquad m\frac{dv}{dt} = \text{F ou } mv_1 - mv_0 = \int^{t} \text{F}\, dt,$$

en appelant F la force, dv l'accroissement de vitesse pendant le temps infiniment petit dt, m la masse du corps égale à $\frac{\text{P}}{g}$, P le poids, g l'accélération due à la pesanteur, v_1 étant la vitesse finale et v_0 la vitesse initiale.

De cette équation se déduisent, pour les divers problèmes relatifs aux points libres, supposés concentrés en leur centre de gravité, qu'étudie la mécanique, les circonstances du mouvement en raison du temps. La quantité mv est dite *quantité de mouvement.*

Principe des forces vives. — La vitesse v étant le nombre qui représente le chemin parcouru pendant l'unité de temps par le corps soustrait à toute action nouvelle, $vdt = de$ sera le chemin élémentaire parcouru par le point d'application de la force F, et d'après (1), en multipliant les deux termes par v, on a l'équation :

$$mvdv = \text{F}vdt,$$

et en intégrant (2) $\quad \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \int \text{F}vdt = \int \text{F}de$

expression qui se réduit à Fe si la force F est constante.

On sait que le produit de la forme Fe, d'une force constante F par le chemin e parcouru dans sa direction, par son point d'application, est ce qu'on appelle *le travail de cette force*, est la mesure de l'action totale de la force à l'état dynamique, comme la pression qu'elle exerce sur un obstacle inébranlable est sa mesure à l'état statique. Ce travail est, par exemple, lors du soulèvement d'un corps pesant, le produit du poids du corps par la

hauteur dont il a été soulevé, et est bien évidemment la mesure de l'action totale de la gravité.

Le produit $\frac{1}{2}mv^2$, de la masse par le carré de la vitesse, est la *force vive* du corps; c'est, on le voit, une autre expression du travail de la force; mais, tandis que la première est en fonction de la mesure statique de la force et du chemin parcouru, la seconde est en fonction de la masse et de la vitesse. Elle donne la mesure du travail emmagasiné sous forme de mouvement.

Il est facile de reconnaître *à posteriori* que les deux formes dont nous venons de parler sont des expressions, sous deux formes différentes, des mêmes effets, puisqu'en exprimant la force par un poids P et par h le chemin parcouru par l'effet de la pesanteur, on a : $v^2 = 2gh$ et $Ph = P\frac{v^2}{2g} = \frac{1}{2}mv^2$, qui est donc bien l'expression du travail rapportée à la force servant d'unité, à la gravité.

La relation exprimée par l'équation (2), c'est-à-dire l'*égalité du travail des forces qui agissent sur un corps et de la variation de sa force vive*, a servi à édifier avec une admirable facilité les théories de la mécanique appliquée, avec une clarté que ne permettaient pas de prévoir les calculs compliqués de la mécanique rationnelle, et si l'on recherche pourquoi cette voie a été si féconde, on reconnaît aisément que c'est surtout parce que les effets des forces sur les diverses parties d'un système de corps, difficiles souvent à analyser au milieu des complications diverses des mécanismes, ont pu être ainsi mesurés par leur somme algébrique.

Ce qui est vrai pour les machines l'est, à bien plus forte raison, pour les phénomènes physiques, lorsqu'il s'agit d'étudier les actions moléculaires, ce qui se passe entre les molécules constituantes des corps. En remplaçant une analyse impossible, qui tiendrait compte des actions mutuelles des éléments en nombre presque infini qui forment les corps matériels, la considération du travail et de la variation des forces vives de la masse totale du corps permet d'apprécier simplement la somme totale des effets produits. On peut dire que ce principe est le plus fécond que la science fournisse pour l'étude des phénomènes physiques.

De l'inertie de la matière. — Les formules ci-dessus supposent

le principe de l'*inertie de la matière* établi logiquement d'après les résultats fournis par l'expérience, qui consiste à considérer la matière comme entièrement distincte de la force qui la met en mouvement, en généralisant le résultat des phénomènes au milieu desquels nous vivons, et qui nous montrent qu'un corps en mouvement ne rentre en repos que par suite de résistances, de forces opposées à son mouvement.

Inertie de translation. — Appliqué au mouvement d'un point mathématique, le principe d'inertie conduit à la conséquence nécessaire que ce point cessant d'être soumis à l'action de forces qui ont agi sur lui, possédera un mouvement rectiligne d'une vitesse uniforme, mouvement qui se prolongera indéfiniment. Cette notion simple ne suffit plus lorsqu'il s'agit de corps matériels, ou de corps pour lesquels les forces n'agissent pas seulement sur le point mathématique dit centre de gravité. Il faut encore alors tenir compte de l'*inertie de rotation.*

Inertie de rotation. — C'est dans les admirables mémoires de Poinsot qu'il faut étudier l'exposé synthétique des effets de rotation dus à l'inertie. Nous en donnerons une courte analyse.

Tout corps qui se meut dans l'espace, en vertu de son inertie, de l'action de forces qui ont cessé d'agir sur lui, possède, en général, à la fois un mouvement rectiligne et uniforme de translation de son centre de gravité et un mouvement de rotation autour de ce centre.

En vertu de l'inertie, le mouvement rectiligne de translation persistera indéfiniment avec une vitesse constante. Le mouvement de rotation continuera de même indéfiniment; mais, au lieu d'être constante, la vitesse du mouvement uniforme de rotation est nécessairement seulement *périodiquement* constante. Cette vitesse a une valeur minimum et une valeur maximum ; à chaque instant elle décroît du maximum au minimum, puis croît du minimum au maximum. La longueur de la période et les valeurs successives de la vitesse pendant sa durée dépendent de la forme du corps considéré, de la disposition de sa masse autour du centre de gravité.

Sphère. — Pour un corps sphérique homogène, le mouvement de rotation a lieu autour d'un *axe constant.* C'est une consé-

quence de la symétrie parfaite de toutes les parties de la sphère, d'où il résulte que rien ne peut faire changer l'axe spontané de rotation déterminé au premier instant.

Le bras d'inertie r, la distance au centre de gravité, déterminée par la valeur de $\Sigma m r^2$, du moment d'inertie dont dépend le mouvement de rotation, égal à la somme de produits semblables pour toutes les molécules situées sur une droite passant par le centre de gravité, aura toujours la même valeur pour une sphère. Il n'en est pas de même pour un autre corps, pour un ellipsoïde, par exemple : les diamètres étant inégaux, la valeur de r l'est aussi.

Corps d'une figure quelconque. — On peut déterminer pour tout corps homogène terminé par une surface continue, son *ellipsoïde central* d'après la théorie des moments d'inertie, ellipsoïde dont les trois axes sont inversement proportionnels aux bras d'inertie qui leur correspondent dans le corps; les formules conduisant par tous les points déterminés d'une manière semblable dans toutes les directions possibles, à une équation du second degré qui est celle d'un ellipsoïde.

Or, le théorème des forces vives et le théorème des aires combinées conduisent à démontrer que le plan tangent mené à l'ellipsoïde central, en un instant quelconque du mouvement, au point où l'axe instantané de rotation perce sa surface, est toujours à une distance constante du centre de gravité.

Il en résulte que ce plan conserve une position invariable par rapport à des axes de direction constante, qui seraient menés par le centre de gravité; puisque, d'une part, il reste toujours parallèle à lui-même, et que, d'une autre part, il est toujours à la même distance du centre de gravité. Le solide se meut donc de telle manière, que son ellipsoïde touche toujours ce plan, déterminé une fois pour toutes comme nous venons de le dire; et comme son axe de rotation passe à chaque instant par le point de contact de l'ellipsoïde, il s'ensuit que cet ellipsoïde *roule* sur le plan dont il s'agit. La vitesse angulaire avec laquelle s'effectue ce roulement varie donc d'un instant à un autre, de manière à rester proportionnelle à la longueur du rayon de l'ellipsoïde qui passe par son point de contact avec le plan.

Les effets de l'inertie de rotation se trouvent rendus ainsi par-

faitement sensibles, et cet ellipsoïde central, étant supposé lié invariablement au corps et tournant avec lui, rend compte de toute sa rotation. On peut supprimer le corps par la pensée et le supposer réduit à son ellipsoïde central. D'où ce théorème : *un corps qui possède un mouvement de rotation n'est soumis à l'action d'aucune force nouvelle, lorsque son ellipsoïde central roule sans glisser sur un seul de ses plans tangents* (mû avec la vitesse rectiligne de translation du centre de gravité du corps) ; *et la vitesse de ce mouvement est en général seulement périodiquement constante.* Par ces théorèmes, Poinsot a rendu tout à fait palpables les effets produits par l'inertie de rotation et aussi faciles à concevoir que les effets d'inertie qui produisent la translation.

Conservation des forces vives. — La relation (2) indique qu'en l'absence de l'action de forces nouvelles, si $F = 0$, la somme des forces vives, les puissances qui appartiennent aux molécules des corps ne varient pas. C'est le théorème capital de la mécanique dans ses applications aux phénomènes du monde physique; c'est celui qui a le plus servi à Fresnel pour transformer si admirablement toute la théorie de la lumière.

Il est intéressant de remarquer que l'équation (2) est formée de termes spécialement propres à évaluer les effets des mouvements vibratoires. En effet, lorsque les éléments d'un corps vibrent, c'est-à-dire qu'à une masse se mouvant avec une vitesse $+ v$ correspond nécessairement une masse égale se mouvant avec une vitesse $- v$, la quantité totale de mouvement est nulle pour le corps entier, on a toujours $\Sigma m v = 0$. Au contraire, sous forme de forces vives, le carré étant toujours positif, $\Sigma m v^2$ comprend les forces vives de toute nature, aussi bien celles qui correspondent au mouvement vibratoire qu'à tout autre.

La valeur philosophique du principe de la conservation des forces vives frappe vivement tous les esprits qui en voient clairement la portée pour la première fois, et qui y reconnaissent une des plus grandes lois du monde physique. Sa vérité est manifestement démontrée par la régularité, l'inaltérabilité des mouvements astronomiques. D'après les relations indiquées plus haut, on peut donner indifféremment à ce principe le nom de principe de la *conservation des forces vives,* ou de *la permanence, de l'indestructibilité du travail.*

Descartes l'avait déjà entrevu lorsqu'il disait qu'il n'y avait dans l'univers qu'une quantité déterminée de mouvement, ce qui n'était qu'une partie de la vérité que Leibniz a complétement formulée en l'énonçant sous la forme de constance des forces vives qui existent dans l'univers, de leur indestructibilité. Cette vérité, dont on n'avait pas encore tiré suffisamment parti pour l'étude de phénomènes qui paraissaient étrangers à la mécanique, est de la même importance pour la physique que l'a été pour la chimie celle promulguée par Lavoisier : *Rien ne se perd, rien ne se crée;* et qui, appliquée par lui à la matière, vérifiée à l'aide de la balance, c'est-à-dire de la force de la gravité qui agit constamment sur la matière, est également vraie pour le travail des forces de la nature.

Ce principe domine également les déductions de la mécanique appliquée. M. Poncelet le formule ainsi dans ses Éléments de mécanique : *Toute production de travail suppose une consommation*, ce qui est bien préciser qu'il n'y a jamais création absolue de travail, production de rien.

Actions mécaniques et actions moléculaires. — Sous sa forme générale, l'équation des forces vives est complète; mais, pour suivre les diverses transformations qui peuvent prendre naissance, il est utile de distinguer les mouvements moléculaires de ceux que possède la masse du corps. L'expression de la somme des forces vives que possède un corps en mouvement comprend alors deux espèces de termes : ceux des forces vives résultant du mouvement général de translation et de rotation de tout le corps et celui qui se rapporte aux mouvements des éléments du corps, aux vibrations des molécules qui constituent le système matériel que nous appelons un corps.

En général, dans les applications de l'équation du travail, on n'a égard qu'à la première partie de la somme, de la forme MV^2, M étant la masse totale du corps, et on a presque toujours négligé jusqu'ici le terme Σmv^2 s'étendant à toutes les molécules du corps, dont m est la masse et v la vitesse de vibration.

Dans son savant ouvrage sur la Mécanique des corps solides et le calcul de l'effet des machines, Coriolis démontre le théorème suivant, qui constitue un énoncé complet faisant la distinction que nous cherchons à établir :

La somme des forces vives d'un système de molécules, quels qu'en soient les ébranlements, peut se décomposer en trois parties : 1° la force vive qu'auraient toutes les molécules transportées au centre de gravité du système; 2° la somme des forces vives qu'auraient ces mêmes molécules, si, dans la disposition relative où elles se trouvent les unes par rapport aux autres, on supposait qu'elles formassent un corps de figure invariable auquel on donnerait le mouvement moyen autour du centre de gravité; 3° la somme des forces vives qu'auraient ces mêmes molécules en vertu des seules vitesses relatives à des plans coordonnés possédant ce même mouvement moyen de rotation.

On voit que les deux premières parties de la somme des forces vives sont seules considérées habituellement dans la solution des problèmes de mécanique, c'est-à-dire les mouvements de translation et de rotation de la masse ; on néglige en général les forces vives des molécules, qui, d'après la théorie mécanique de la chaleur, sont calorifiques. En tenant compte de cette partie, au contraire, et ainsi seulement, on peut trouver la vérification complète du principe de la conservation des forces vives appliqué à tous les phénomènes de mécanique physique.

De la transformation du travail mécanique. — Puisque toutes les idées que nous nous faisons du travail des forces, d'après tous les faits, nous conduisent à penser qu'il est impossible qu'il s'anéantisse; lorsque nous vérifions, dans tous les cas où les forces résistantes, qui pourraient détruire les effets d'une impulsion, sont nulles, la vérité absolue du principe de la conservation des forces vives, que nous voyons, par exemple, le système du monde, le cours des astres, n'éprouver, depuis tant de siècles, aucune variation, nous devons croire à la permanence du travail.

De là cette grave conséquence, que, dans tous les cas où le calcul étant fait sans tenir compte des actions moléculaires, du travail mécanique disparaissant sous sa forme ordinaire, un certain effet apparaît, cet effet est nécessairement produit par le travail disparu; les deux phénomènes sont entièrement liés l'un à l'autre. Le travail mécanique ne s'anéantit pas, il se transforme, se manifeste autrement; sa permanence est un principe supérieur du monde matériel, et l'application dans les sciences de ce principe doit conduire aux plus importants et plus intéressants résul-

tats. De plus, nous pouvons ajouter, avec toute certitude, que ce travail ne peut disparaître en apparence, sans engendrer des mouvements, des vibrations moléculaires, puisque nous savons qu'il subsiste en restant insensible comme mouvement de masse; et comme, dans nombre de cas, les effets produits nous deviennent sensibles sous forme de chaleur, il nous faut conclure de toute nécessité que la chaleur est, dans les corps, un mouvement vibratoire de leurs premiers éléments.

Frottement. — Nous prendrons, pour rendre ceci palpable, les phénomènes du frottement dans les machines, sur la nature duquel je reviendrai plus loin. On sait que, si on ne tient pas compte du frottement, il existe dans toute machine, parvenue à un mouvement uniforme, une différence importante entre le travail moteur et le travail résistant. La cause en réside dans le frottement, qui n'est évidemment pas une force élémentaire, mais qui est dû aux actions qui s'exercent entre les molécules des surfaces frottantes. Si donc celles-ci sont assez dures pour ne pas éprouver d'usure, il ne pourra s'être produit que des mouvements intérieurs, notamment le mouvement des molécules des corps frottants. Or, pendant qu'une perte de travail moteur résulte du frottement, on constate l'échauffement des surfaces frottantes, échauffement d'autant plus considérable que le frottement a lieu sous une plus forte pression, et qui est variable avec l'état des surfaces. La perte de travail inexpliquée, quand on néglige les actions moléculaires, est souvent alors très-sensible. On doit conclure que la chaleur qui apparaît, seul phénomène physique qui soit alors constaté, est l'équivalent du travail moteur qui disparaît, en quelque sorte, et que l'équation du travail se vérifiera si l'on fait l'évaluation en travail mécanique de la quantité de chaleur produite.

Je ne donnerai pas ici d'autres exemples de phénomènes conduisant à considérer la chaleur dans les corps comme un mouvement moléculaire. Ce principe est aujourd'hui hors de doute. Démontré depuis les expériences de Rumford et Davy, il a été encore confirmé par celles de Melloni, qui ont démontré l'identité de nature des rayons lumineux et calorifiques, c'est-à-dire prouvé la nature essentiellement vibratoire de ces derniers. Je n'ai pas à traiter ici la question au point de vue de la théorie de

la chaleur, et je passe donc au but du présent travail, savoir : établir comment peut être conçue la constitution des corps, en partant de ce fait, que la chaleur est, dans les corps, un mouvement de leurs molécules.

A l'aide de ce seul principe, que nous empruntons à la théorie de la chaleur, nous allons chercher à établir la constitution des corps, puis nous vérifierons les résultats théoriques par la manière dont ils résistent aux actions mécaniques, genre d'effet qui est celui que nous connaissons le mieux. Mais nous devons d'abord analyser les éléments qui composent les corps et les forces qui agissent entre eux.

§ II. — Des premiers éléments des corps.

Au début d'une étude sur la constitution des corps, il faut bien établir qu'ils ne sont pas composés de points mathématiques sans étendue, dont la réunion en nombre quelconque ne ferait jamais un corps de dimensions finies, mais de corpuscules extrêmement petits, ayant leurs formes propres, leurs centres de gravité avec lesquels on peut les confondre dans les calculs de la mécanique ordinaire où l'on s'occupe de mouvements immenses par rapport à leurs dimensions, mais dont il faut les distinguer avec soin dans la mécanique moléculaire.

De ce que le dernier élément des corps a une masse propre, comme nous allons l'établir, il en résulte qu'il est susceptible d'emmagasiner par des mouvements de translation, de rotation, de vibration, qui lui sont propres et qui sont indépendants de ceux de la masse totale du corps, une quantité de force vive. Comme l'avait vu Leibniz, tout corpuscule élémentaire présente, à moins de tomber dans le néant, une force vive disponible pour l'instant suivant; car la matière n'existe pas pour nous sans la force. La séparation entre la matière et la force n'existe que par un effort de notre intelligence, qui nous permet de mieux analyser les phénomènes du monde physique où nous les voyons toujours réunis.

La notion d'atome, d'un dernier élément indivisible des corps, n'est plus aujourd'hui une simple vue philosophique. Elle a reçu depuis Leibniz une base expérimentale; la réalité de

son existence est démontrée par les résultats en nombre infini d'une science créée en totalité depuis ce grand philosophe, de la Chimie.

DES POIDS ATOMIQUES.

L'étude des combinaisons, objet de la chimie, a conduit en effet à une loi capitale au point de vue de la mécanique moléculaire, c'est la loi des équivalents ou des poids atomiques.

Elle consiste en ce que les quantités des éléments qui se combinent ensemble, pour former un corps nouveau, sont constantes et non variables à l'infini; c'est-à-dire que si a et b sont les quantités de deux corps qui se combinent ensemble pour former un composé nouveau bien déterminé, cristallisable par exemple, *si ces deux* corps forment des combinaisons avec un troisième corps, une quantité déterminée c de ce corps pourra seule se combiner avec les quantités a, b des deux premiers et former les composés $a + c$, $b + c$, ou les multiples simples $a + 2c$, $2a + c$..., etc. Comme, quelque loin que l'on pousse la division d'un corps composé, la dernière parcelle est toujours formée de la même proportion des corps composants, de ce qu'une combinaison ne peut s'effectuer que dans des rapports simples, on doit nécessairement conclure qu'il en est ainsi parce qu'elle se produit entre les premiers éléments des corps qu'on a appelés atomes, qui forment par leur réunion un petit solide élémentaire.

Comment pourrait-on comprendre la loi des proportions multiples si les corps composants pouvaient se fractionner d'une manière absolument quelconque? Évidemment les proportions varieraient sans cesse dans les combinaisons d'un corps avec tous les autres. Or, la chimie est fondée tout entière sur le résultat inverse, et la démonstration de l'existence de l'atome chimique n'est plus contestée aujourd'hui. La molécule formée d'un nombre plus ou moins grand d'atomes peut être à considérer fréquemment en physique, mais on ne doit pas oublier sa constitution atomique.

Nous donnerons ici les poids des atomes des principaux corps simples qui peuvent servir à former les poids atomiques de tous corps composés dont la composition est connue, celui de l'oxygène ou de l'hydrogène étant pris pour unité. Les corps simples

sont, on le sait, ceux que la chimie n'a pas encore appris à décomposer.

POIDS ATOMIQUES DES CORPS SIMPLES.

	Oxygène = 100	Hydrogène = 1		Oxygène = 100	Hydrogène = 1
Aluminium.	171,167	13,7	Manganèse	345,900	27,6
Antimoine......	806,452	64,5	Mercure	1256,000	100,0
Argent	1351,607	108,00	Nickel.........	369,675	29,5
Arsenic........	470,042	37,5	Or............	1227,019	98,18
Azote	175,00	14,00	Oxygène.......	100,000	8
Barium	858,000	68,6	Phosphore......	400,000	32,0
Bismuth	1330,376	104,0	Platine	1215,220	98,6
Brome	500,060	80,0	Plomb.........	1294,498	103,8
Cadmium.......	706,060	56,9	Potassium......	489,916	39,1
Calcium........	256,019	20,0	Sodium........	287,500	23,0
Carbone	75,000	6,0	Soufre.........	200,000	16,0
Chlore.........	221,325	17,7	Strontium......	547,285	43,8
Cobalt.........	368,991	29,5	Tellure........	800,000	64,0
Cuivre.........	395,695	31,6	Titane	389,092	25,2
Étain	735,294	58,82	Tungstène......	1150,000	95,0
Fer...........	350,000	28,0	Uranium.......	750,000	60,0
Hydrogène	6,239	1	Zinc	412,050	33,0
Iode	768,781	63,4			

Il est inutile de montrer ici comment les poids atomiques des corps composés se déduisent, par une simple addition, de ceux des corps simples. Ainsi le protochlorure de cuivre $Cl\,Cu$ sera formé de 395,6 de cuivre et 221,3 de chlore; son atome sera $395,6 + 221,3 = 616,9$. Le bichlorure $2Cl\,Cu$ aura pour atome $395,6 + 2 \times 221,3 = 838,2$ et de même dans tous les cas.

De la grandeur des atomes. — Les dimensions des atomes sont d'un ordre de grandeur tout autre que celui des corps; le rapport qui existe entre le corps et l'atome élémentaire n'est pas un rapport ordinaire de plus grand à plus petit, mais celui d'une grandeur finie à un infiniment petit. Sans doute il ne s'agit plus ici de l'infiniment petit mathématique dont l'addition à une grandeur finie ne lui ajoute absolument rien, mais de quelque chose qui en approche autant qu'il est possible sans cesser d'exister réellement.

Pour montrer combien est petite la dimension d'un atome, et qu'il est permis de la dire presque infiniment petite, nous citerons ici quelques résultats de divisibilité mécanique qui ne peuvent se rapporter cependant qu'à des agglomérations d'atomes très-notables, et quelques autres de divisibilité chimique qui, eux, se rapportent à des corps composés et par suite à

des groupements d'atomes simples, exemples dans lesquels le corps composé conserve, jusque dans ses dernières fractions, sa nature propre.

Divisibilité mécanique à l'état solide. — On étend l'or, au moyen du battage, en feuilles extrêmement minces, d'une surface assez grande pour être divisée en grand nombre de parties, et qui sont formées de molécules assez écartées pour laisser passer la lumière entre elles. On cite, dans les traités de physique, l'expérience suivante. Dans le tirage à la filière, on est parvenu, avec une partie d'or de la grosseur d'un dé à jouer, à pouvoir dorer dans toute sa longueur un fil d'argent d'une longueur de cent lieues; en aplatissant ce fil, on en fait un ruban recouvert d'or sur toute sa surface, qu'on peut couper en quatre lanières de même longueur; on peut ensuite diviser ces lanières en dixièmes de millimètre, ce qui donnerait trente-deux milliards de parties divisibles.

Divisibilité à l'état liquide ou gazeux. — Les liquides et les gaz ont la propriété de se mélanger d'une manière intime, c'est-à-dire que la même proportion des éléments constituants se retrouve dans une fraction quelconque de mélange. Un grain de carmin, quantité de matière à peine visible, communique sa couleur à une quantité d'eau dix millions de fois plus grande, et peut par conséquent se diviser en plus de dix millions de parties.

On est parvenu à doser dans l'air moins de $\frac{1}{10000}$ d'acide carbonique, et il est certain qu'il y existe des quantités bien moindres d'autres gaz dont l'analyse chimique est impuissante à constater l'existence, qui n'y entrent qu'en quantités que l'on peut dire impondérables dans la pratique.

Les matières odorantes offrent un exemple de divisibilité supérieur à tout ce qu'on peut imaginer : une très-petite portion de musc peut fournir des particules odorantes à l'air qui se renouvelle autour d'elle pendant plusieurs années; il est évident que si l'on pouvait isoler une de ces particules, elle serait d'une petitesse inconcevable.

§ III. — Des forces qui agissent entre les molécules matérielles.

Comment se groupent les atomes que nous venons de définir, pour former les divers corps de la nature? Ce ne peut être que sous l'influence de forces déterminées qui se manifestent clairement lorsque des forces étrangères viennent agir sur les corps, car alors leur résistance est nécessairement en raison des forces propres aux molécules de ces corps. Or l'action la plus incontestable qui paraît s'exercer entre les corps, par suite de leur nature matérielle, est celle que nous révèle l'analyse des phénomènes les plus considérables du monde matériel, celle qui a donné les lois de l'astronomie; c'est la force que nous appelons l'*attraction*.

De l'attraction. — Cette force consiste en une attraction de la matière pour la matière, ou, comme disait Newton, en une cause qui fait que tout se passe comme si cette attraction existait, sans que rien doive être changé aux résultats de la science, si on arrivait à analyser, plus complétement qu'on ne peut le faire aujourd'hui, la nature intime de cette attraction.

Une foule de phénomènes prouvent que l'attraction persiste dans les derniers éléments de la matière et détermine leurs mouvements. Parmi les principaux je citerai ceux classés sous les noms de capillarité, de cristallisation, de combinaisons chimiques, c'est-à-dire un nombre indéfini de faits qu'on ne peut s'expliquer autrement que par un effet d'attraction mutuelle des molécules.

La démonstration des lois que suit la force d'attraction entre deux corps matériels résulte si complétement de toute l'astronomie, de tous les travaux dus au génie de Newton, qu'il n'y a pas à insister sur le principe posé par ce grand homme : « que tout se passe dans l'univers comme si une attraction se produisait en raison directe des masses et en raison inverse du carré des distances. » Il doit en être de même pour toutes les molécules matérielles; et on peut dire avec Biot : « Les molécules sont de petits corps distincts doués, comme les plus grosses planètes, de la force attractive proportionnelle aux masses et réciproque du carré des distances. » Toutefois il est à remarquer que la force

d'attraction lorsqu'on vient à la considérer dans les actions mutuelles des molécules des corps, lorsqu'elle s'exerce entre les infiniment petits, paraît presque nulle à une distance minime, ou mieux qu'elle n'a une valeur très-grande que pour un écartement infiniment petit; car les corps solides n'adhèrent généralement pas ensemble par suite du seul contact apparent de surfaces bien dressées, par l'effet de la seule attraction de leurs éléments. Mais quand on réfléchit à la généralité de la loi de la gravitation universelle, on doit considérer comme certain que ce n'est pas la loi d'attraction qui varie, mais un élément nouveau qui intervient aux distances extrêmement petites; nous reviendrons plus loin sur cet élément de la question.

Des mouvements moléculaires. — Nous avons reconnu l'état des molécules entre lesquelles peut se produire l'effet de l'attraction *mutuelle*, c'est-à-dire que ces molécules étaient douées de mouvements propres, l'effet de la chaleur étant de mettre celles-ci en mouvement; c'est par cette considération que l'on doit arriver à expliquer les effets pour lesquels on avait imaginé le *calorique*, un fluide impondérable qu'on avait doué de propriétés propres à rendre compte des faits. Mais alors on arrive à une similitude d'effets qui ressort nécessairement de la similitude des causes, dans le monde des infiniment grands, c'est-à-dire dans les systèmes planétaires, et dans celui des infiniment petits ou des systèmes moléculaires. Dans les deux cas, les mouvements sont produits sous l'influence de forces d'attraction mutuelle d'une part et d'impulsion de l'autre, et on arrive nécessairement aux mêmes résultats, car l'infinie distance des corps célestes permet de les considérer comme concentrés en leur centre de gravité aussi bien que les molécules libres infiniment petites des corps agissant à des distances très-petites.

Nature des mouvements. — Pour apprécier les phénomènes que peut engendrer, dans les diverses circonstances, l'attraction mutuelle des molécules matérielles libres, animées d'un mouvement vibratoire qui leur est propre, il importe de rappeler les principaux résultats du calcul qui conduit aux lois générales des mouvements des systèmes planétaires.

L'analyse appliquée seulement jusqu'ici aux phénomènes astronomiques se rapporte, d'une manière générale, aux mouvements de tous points libres ayant reçu une impulsion et obéis-

sant à l'action d'une *force dirigée vers un centre relativement fixe et variant en raison inverse du carré de la distance du point à ce centre*. Les résultats si précieux de l'analyse mathématique qui précède si utilement toute recherche de physique, permettront donc de formuler les lois générales des phénomènes pour les corps définis seulement par leur caractère fondamental d'être formés de molécules matérielles, étude qui doit précéder celle où l'on aura à tenir compte de la nature propre de chacun.

Le mouvement produit dans de semblables conditions s'exécute tout entier dans le plan passant par la direction de l'impulsion que le point a pu recevoir et par le centre d'attraction; les aires décrites sont planes; de plus, *elles sont égales en des temps égaux;* c'est là le *principe des aires,* une des lois que Képler a constatées expérimentalement pour les planètes et que l'on démontre aisément se rapporter au système indiqué.

En effet, soit MM′ l'élément de chemin parcouru pendant l'élément de temps Δt : en vertu de la vitesse acquise, le mobile parcourrait, dans un second instant Δt, un chemin M′G égal à MM′ et situé sur son prolongement : en vertu de l'action de la force F dirigée, à ce moment, suivant M′O, il parcourrait un chemin M′H : donc, d'après la règle du parallélogramme, il parcourra, dans ce second instant, la diagonale M′M″. Or, joignons OM, OM′, OM″, OG : les deux triangles MOM′, M′OG, sont équivalents, comme ayant bases égales et même hauteur; les deux triangles M′OG, M′OM″, sont également équivalents, comme ayant même base M′O et leurs sommets G et M″ sur une même parallèle à la base; donc les deux triangles MOM′, M′OM″, sont équivalents. Donc les aires décrites dans des temps égaux Δt, qui sont les surfaces de ces triangles, sont égales.

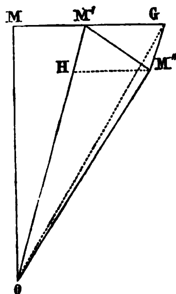


Fig. 1.

On a donc la relation différentielle entre les coordonnées polaires de la courbe

$$r^2 d\theta = C dt. \qquad (3)$$

C étant une constante, $r d\theta$ la perpendiculaire abaissée d'un sommet du triangle élémentaire sur la base r, $d\theta$ étant le petit

angle au centre décrit par le rayon vecteur, $r^2 d\theta$ est donc le double de l'aire décrite.

Si nous appelons μ la force d'attraction à l'unité de distance, $\frac{\mu}{r^2}$ sera l'attraction à la distance r, et, d'après le théorème des forces vives,

$$v^2 - v_0^2 = 2\int_{r_0}^{r} \mathrm{F}dr = 2\int_{r_0}^{r} \frac{\mu}{r^2}\,dr; \quad \text{d'où}$$

$$v^2 = v_0^2 + \frac{2\mu}{r} - \frac{2\mu}{r_0}.$$

D'ailleurs, en coordonnées polaires,

$$v^2 = \frac{dr^2 + r^2d\theta^2}{dt^2}, \text{ et faisant } v_0^2 - \frac{2\mu}{r_0} = h, \text{ on a}$$

$$\frac{dr^2 + r^2d\theta^2}{dt^2} = \frac{2\mu}{r} + h. \qquad (4)$$

Éliminant dt entre les équations (3) et (4), et résolvant, par rapport à θ, nous trouverons :

$$d\theta = \frac{\mathrm{C}dr}{r\sqrt{hr^2 + 2\mu r - \mathrm{C}^2}}.$$

En égalant à zéro le terme sous le radical, nous avons une équation du second degré en r, dont les deux racines sont réelles, puisque son premier membre est négatif pour $r = 0$, et qu'il est nécessairement positif pour d'autres valeurs de r, sans quoi le rapport de $d\theta$ à dr cesserait d'être réel. Désignons les deux racines de cette équation par

$$a(1-e), \qquad a(1+e),$$

ce qui donne les relations $h = -\frac{\mu}{a}$, $\quad \mathrm{C} = \sqrt{a\mu(1-e^2)}$.

La valeur de $d\theta$ conduit alors, par intégration, à la formule :

$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e\cos(\theta - \alpha)}$, α étant l'angle du rayon vecteur à l'origine.

Le mobile parcourt donc une section conique ayant le centre d'attraction pour un de ses foyers. La constante e n'est autre chose que l'excentricité de cette courbe, qui sera une ellipse, une hyperbole ou une parabole, suivant qu'on aura : $e < 1$, $e > 1$ ou $e = 1$.

D'après les relations ci-dessus, on a $e = \sqrt{1 + \frac{\mathrm{C}^2 h}{\mu^2}}$.

il s'ensuit, d'après la valeur de h donnée plus haut, que la trajectoire sera :

une branche d'hyperbole, si l'on a :

$$v_0^2 > \frac{2\mu}{r_0},$$

une parabole, si l'on a :

$$v_0^2 = \frac{2\mu}{r_0},$$

et une ellipse, si l'on a :

$$v_0^2 < \frac{2\mu}{r_0}.$$

Il est bien remarquable que la nature de la trajectoire décrite résulte entièrement des quantités v_0 et r_0, et ne dépend en aucune manière de l'angle que la vitesse initiale v_0 fait avec le rayon vecteur r_0.

La valeur de r_0 n'est déterminée que pour le second cas, pour la parabole; dans celui de l'ellipse elle ne peut dépasser une limite supérieure qui rapproche l'ellipse de la parabole, c'est-à-dire que son grand axe va en croissant; la limite inférieure est en un point où r est tellement petit que le mouvement elliptique ne peut avoir lieu, ce qui ne répond plus au cas traité par l'équation; enfin pour l'hyperbole elle peut croître indéfiniment, ce qui répond à des hyperboles dont les branches s'ouvrent de plus en plus. Remarquons aussi que l'influence de μ, de la force d'attraction proportionnelle à la masse, au poids atomique, est directement inverse de celle de l'écartement moléculaire.

Les trajectoires que parcourt un point libre, qui n'est soumis qu'à l'attraction d'un autre point, se divisent donc en deux grandes classes en raison des impulsions qu'elles ont reçues, de la vitesse v_0 qu'elles possèdent au commencement du mouvement considéré, savoir : les courbes fermées, comme l'ellipse, pour les petites vitesses, et les courbes à branches qui se prolongent à l'infini, comme l'hyperbole et la parabole.

La seule objection possible pour l'application de la loi de gravitation aux mouvements des molécules des corps, c'est que l'attraction moléculaire peut varier suivant une loi plus complexe que l'inverse du carré de la distance; on peut contester la cer-

titude de l'application de cette loi de variation. Nous avons déjà fait entrevoir la réponse qui doit être faite à cette objection, mais on doit observer qu'il n'en résulterait pas, si elle était fondée, une infirmation du résultat capital obtenu ci-dessus, à savoir que les mouvements ont lieu en raison des vitesses du mouvement initial, tantôt suivant des courbes fermées, tantôt suivant des courbes à branches infinies; c'est surtout là ce qui importe, et nullement que ces courbes soient des courbes du second degré, plutôt que du quatrième.

D'après l'ensemble des phénomènes, nous pouvons établir comme hors de doute : 1° Que la loi d'attraction des molécules matérielles doit au moins pouvoir être représentée par une expression comprenant un terme variant en raison inverse du carré de la distance, qui seul subsiste dès que celle-ci devient grande; plus peut-être un autre terme qui n'a une valeur sensible que pour de très-petites distances; 2° que l'influence de ce second terme ne saurait jamais être prépondérante au point de modifier la nature essentielle des trajectoires en remplaçant une courbe ouverte par une courbe fermée, ou inversement.

On doit donc admetttre que des courbes que nous appellerons elliptiques, paraboliques, hyperboliques, doivent être les trajectoires de molécules libres autour d'autres molécules, sous la loi de l'attraction moléculaire, même à très-petite distance.

Force centrifuge. — L'analyse du mouvement dans une courbe, par les effets d'une impulsion et d'une attraction, conduit au calcul de la *force centrifuge*, c'est-à-dire de la cause qui empêche le point libre de se diriger vers le centre d'attraction, comme il le ferait s'il n'y avait pas d'impulsion primitive. Le point qui tendait à se mouvoir en ligne droite résiste, en vertu de son inertie, à quitter cette direction; c'est cette résistance qu'on nomme la force centrifuge et qui a pour expression $M\frac{v^2}{r}$, v étant la vitesse, r le rayon d'un cercle osculateur de la courbe décrite, au point considéré.

L'exemple familier de la fronde sert à faire bien comprendre cet effet. Chacun sait qu'un corps attaché à l'extrémité d'un fil, décrit, par l'effet d'une impulsion perpendiculaire à sa direction, un cercle dont le rayon croîtrait avec la vitesse si le fil n'était inextensible, était doué d'élasticité, et pouvait céder à la traction

qui tend à l'allonger. Le mobile tend à s'échapper suivant la tangente, comme on le voit bien s'il devient libre.

La comparaison de la résistance du fil de la fronde et de l'attraction qui courbe la trajectoire que décrirait un corps libre qui ne serait pas soumis à cette action, fait comprendre comment la force centrifuge équilibre la force d'attraction; comment son action ne modifie pas la somme des forces vives, celle-ci restant la même pour des valeurs égales de rayons vecteurs; c'est ce qui ressort clairement de l'équation posée plus haut.

Nous voyons apparaître, sous la forme de force centrifuge, des effets tout à fait semblables à ceux qui nous paraissent dus à une force répulsive, comme celle que manifeste constamment l'action de la chaleur, et, par conséquent, il suffit bien que l'effet de celle-ci soit de produire une force vive moléculaire pour qu'on voie apparaître des effets extérieurs de répulsion. La force centrifuge existant pour tout élément de courbe trajectoire, quelque minime que soit son étendue, l'action répulsive n'apparaît pas moins pour un chemin peu étendu, comme une vibration de faible amplitude, que pour une orbite formant une courbe entière.

Application du principe de la conservation des forces vives. — Si on cherchait, à l'aide des principes précédents, à analyser les mouvements de la multitude des molécules qui forment un corps composé de molécules libres, on rencontrerait, si on voulait suivre les actions des forces agissant sur chaque molécule, les plus grandes difficultés, et une pareille étude ne conduirait à aucun résultat utile. S'il n'est pas douteux que la présence de l'attraction ne fasse naître dans ce cas, comme en astronomie, des mouvements planétaires, ils se trouvent ici en nombre infini. Heureusement que la seule chose qui importe, c'est la notion générale de leur nature; car, grâce au principe des forces vives, tous les effets qu'il est utile d'analyser et qui se rapportent à toutes les molécules du corps, s'intégreront aisément pour toute la masse finie du corps. Comme nous l'avons dit en commençant, le principe de la conservation des forces vives permet de tenir compte des modifications qui peuvent se produire, par l'évaluation de l'effet total qu'il est toujours possible de mesurer.

Les considérations précédentes s'appliquent aux corps gazeux et liquides, dont les molécules sont libres, mais non directement

aux corps solides dont les molécules sont cohérentes; elles conduisent cependant au mode de constitution de ces derniers. En effet, lorsque la vitesse des molécules devient assez faible et leur rapprochement assez grand pour que celles-ci, obéissant à leur attraction mutuelle, cessent de pouvoir se séparer, il n'en résulte pas que leurs forces vives puissent disparaître, mais seulement, comme nous le verrons plus loin, que les mouvements moléculaires deviennent vibratoires, mode de mouvement naturel aux corps solides.

Superposition des petits mouvements. — Remarquons encore qu'en appliquant les principes de la mécanique rationnelle aux mouvements moléculaires, il faut observer que les longueurs des vibrations des molécules extrêmement petites sont aussi des quantités extrêmement petites, c'est-à-dire qu'il y a lieu d'appliquer le principe de *la superposition des petits mouvements*, principe dont on reconnaît l'éxactitude dans tous les cas où les mouvements que l'on peut observer sont petits et s'exercent entre des masses libres et extrêmement petites; alors ils coexistent sans se troubler les uns les autres.

C'est ainsi que les ondes sonores qui partent de différents points, se propagent et se superposent dans un gaz parfaitement élastique sans se modifier, en sorte qu'à chaque instant le déplacement et la vitesse d'une molécule d'air, suivant une direction quelconque, est la somme des déplacements et des vitesses qui répondraient à toutes les ondes considérées isolément; ce qui nous permet d'entendre directement et sans confusion plusieurs sons à la fois, produits par différents corps sonores.

D'après le même principe, les ondes produites en plusieurs points de la surface d'un liquide se propagent simultanément autour de ces centres différents, et peuvent se croiser en tous sens sur cette surface sans se modifier mutuellement, de manière qu'à un instant quelconque l'élévation de la surface, en tel point qu'on voudra, est la somme des élévations positives ou négatives qui auraient lieu en vertu de toutes ces ondes considérées isolément.

Ce fait résulte de l'impossibilité de la consommation de partie des forces vives par des chocs entre des molécules isolées, comme cela pourrait avoir lieu pour un solide formé d'un nombre infini

de molécules réunies par des forces de cohésion, dont l'écartement pourrait être modifié par un choc capable de causer une consommation de travail intérieur.

§ IV. — Des divers états des corps.

Les éléments ci-dessus indiqués suffisent pour analyser théoriquement les divers états des corps considérés comme formés de points matériels exerçant les uns sur les autres une attraction mutuelle, et mus en même temps en vertu d'une impulsion antérieure. Suivant les grandeurs relatives de la force centrifuge, effet de l'impulsion qu'elles ont reçue et de la force d'attraction, les molécules pourront tendre à venir au contact, à demeurer à une distance moyenne constante, enfin à s'éloigner indéfiniment les unes des autres.

Examinons ces trois cas qui correspondent aux trois états sous lesquels nous trouvons les corps, états bien définis par des propriétés physiques distinctes.

1° *Corps solides.* — La force d'attraction étant prédominante, très-grande relativement à la vitesse d'impulsion qui anime les molécules voisines, celles-ci doivent cesser de pouvoir se séparer.

De là résulte l'état solide, dans lequel les molécules ne peuvent plus se mouvoir indépendamment les unes des autres, elles ne peuvent que demeurer à l'état vibratoire, restant fixées l'une à l'autre par l'effet de la force d'attraction qui va croissant rapidement avec le rapprochement moléculaire, et qui paraît les disposer de telle sorte que leurs *pôles* soient disposés d'une manière déterminée. Toutefois les molécules n'arrivent jamais au contact; l'analyse la plus superficielle de la constitution des corps solides de la nature permet de constater par une multitude d'expériences leur constante porosité, et on sait quel volume les pores occupent dans certains solides, le charbon par exemple. D'ailleurs, quelque dense que soit un corps, on peut toujours, en le refroidissant, réduire son volume; ce qui doit faire conclure d'une manière générale, que *les distances qui séparent les molécules des corps sont toujours très-grandes relativement à leurs volumes propres.*

2° *Corps liquides.* — Lorsque les forces d'attraction et d'impul-

sion sont telles que les mouvements moléculaires tendent à produire des orbites fermées, elliptiques, en raison de la grandeur de l'attraction réciproque des molécules, de leur écartement et de leur vitesse, on arrive à un mode de constitution qui rappelle celui des corps liquides, dont les molécules restent libres, qui n'exercent aucune action extérieure, qui se divisent sans opposer de résistance; toutes conséquences nécessaires de la nature de courbes fermées attribuée ici aux orbites décrites par leurs molécules.

3° *Corps gazeux.* — Dans le cas au contraire où les molécules tendent à suivre des orbites à branches indéfinies, on arrive à la constitution des corps gazeux, c'est-à-dire de corps dont les molécules tendent à un écartement indéfini, n'opposent de résistance qu'à la compression.

Avant de voir jusqu'à quel point cette conception générale des corps, considérés comme formés de molécules soumises à leur attraction mutuelle et à des impulsions primitives, se vérifie et se précise à l'aide de l'étude expérimentale des corps que nous offre la nature, voyons si elle s'accorde avec le grand fait du changement d'état des corps, du passage d'un même corps par l'état liquide, l'état solide, l'état gazeux.

Il est clair qu'à ce point de vue, elle satisfait déjà à une condition de continuité qui règne évidemment dans la nature; les forces qui déterminent l'état des corps ne variant jamais de qualité, mais seulement de quantité, d'intensité. Ainsi la forme parabolique des trajectoires qui peut paraître inutile, a aussi sa signification précise dans la constitution des vapeurs saturées qui passent à l'état liquide par le moindre rapprochement des molécules, et se confondent au contraire tout à fait avec les gaz pour un plus grand écartement.

Changement d'état des corps. — En employant des courbes, nous montrerons facilement comment la variation d'impulsion explique le changement d'état pour un même corps, c'est-à-dire pour une attraction moléculaire déterminée et pour des impulsions moléculaires croissantes, produisant par suite des écartements croissants.

Construisons une courbe *aa'* ayant pour abscisses les distances croissantes de deux molécules voisines, et pour ordonnées les

valeurs de l'intensité de leur attraction mutuelle pour ces diverses distances. Cette courbe se rapproche indéfiniment des deux axes, l'attraction augmentant avec le rapprochement et devenant presque nulle pour un grand écartement.

Construisons une autre courbe *rr'* dont les abscisses représentent les mêmes écartements des molécules et les ordonnées les valeurs de la force centrifuge qui tend à les écarter en raison de la grandeur des impulsions reçues. Cette courbe ne pourra occuper que trois positions relativement à la première (celle-ci venant rencontrer les deux axes, la seconde indéfiniment prolongée ne peut être constamment située au-dessous).

Fig. 2.

1° La courbe *rr'* coupe *aa'* en un point *m*, *md* est l'ordonnée commune.

Si par compression mécanique on rapprochait les molécules jusqu'à ce que leur écartement ne fût plus que *ob*, *bn* serait inférieur à *bn'*, les molécules tendront à s'éloigner aussitôt que l'action de compression cessera. Le contraire aurait lieu pour un effet d'écartement; si les molécules sont amenées à la position *oc*, *cp'* correspondant à la force qui produit l'écartement sera moindre que *cp* qui tend à produire le rapprochement. C'est bien là l'état d'équilibre stable qui appartient à l'*état solide* des corps.

2° Les impulsions croissant, la courbe devient RR' tangente a *aa'* en M ou se confondant avec elle dans une certaine étendue. En raisonnant comme ci-dessus, on reçonnaît un équilibre stable

pour tout déplacement qui rapprochera les molécules, mais parfaitement instable pour toute action produisant l'écartement. C'est bien là l'équilibre de l'*état liquide;* on sait que les corps à cet état résistent à la compression, mais ne réagissent pas contre une action de division.

3° Les impulsions croissant encore, la courbe devient $R_1 R'_1$ située tout entière au-dessus de *aa'*. Les forces d'attraction sont constamment inférieures à celles qui produisent l'écartement des molécules. C'est bien une représentation exacte de la tendance à la diffusion qui constitue *l'état gazeux*.

On voit que cette manière de concevoir la constitution des corps par une application directe des principes de la mécanique est bien conforme aux phénomènes capitaux, et notamment au grand fait du changement d'état qui se trouve analysé d'une manière satisfaisante par la variation des impulsions moléculaires.

Nous en resterons là de cette analyse mathématique, de cette application de la mécanique rationnelle à des phénomènes physiques pour lesquels il y a toujours à tenir compte des résultats de l'analyse de la nature propre des corps. Passons à une étude expérimentale plus complète, et voyons si cet accord peut se poursuivre lorsque les corps, dans leurs divers états, sont soumis aux actions mécaniques de tout genre; car c'est dans la manière dont ils se comportent alors, dont ils résistent aux actions mécaniques qui sont celles que nous connaissons le mieux, que doit se déduire, de la manière la plus certaine, l'analyse de leur constitution.

§ V. — De l'éther.

Avant de passer à l'étude dont nous venons de parler, il faut rappeler l'existence d'un élément qui intervient dans la plupart des phénomènes physiques, qui, permettant seul l'analyse des faits de la chaleur rayonnante, ne saurait être négligé dans aucune circonstance où la chaleur joue un rôle. Je veux parler de l'éther dont l'existence, grâce aux travaux modernes sur la lumière, a aujourd'hui le même degré de certitude, au moins, que l'attraction newtonienne. Un savant éminent, M. Lamé, arrive à une

conclusion semblable pour une autre étude, par cela seul qu'elle se rapporte à un ensemble de phénomènes physiques. Voici ce qu'il dit à la fin de ses savantes leçons sur l'élasticité.

« L'existence du fluide éthéré est incontestablement démontrée par la propagation de la lumière dans les espaces planétaires, par l'explication si simple, si complète, des phénomènes de la diffraction dans la théorie des ondes ; enfin par les lois de la double réfraction qui prouvent avec non moins de certitude que l'éther existe dans tous les milieux diaphanes. Ainsi la matière pondérable n'est pas seule dans l'univers, ses particules nagent en quelque sorte au milieu d'un fluide. Si ce fluide n'est pas la cause unique de tous les faits observables, il doit au moins les modifier, les propager, compliquer leurs lois. Il n'est donc plus possible d'arriver à une explication rationnelle et complète des phénomènes de la nature physique sans faire intervenir cet agent, dont la présence est inévitable. »

On doit donc considérer comme parfaitement démontrés, par une foule de phénomènes, ceux d'interférence par exemple, dans lesquels l'obscurité se produit par une addition de lumière à de la lumière, que *tout se passe* comme si dans tout l'espace était répandu un fluide, l'éther impondérable, parfaitement élastique. Il remplit les intervalles moléculaires des corps, et sa densité augmente autour des molécules matérielles qui exercent sur lui une attraction qui paraît démontrer sa matérialité. Ceci n'est pas une pure hypothèse, mais une conséquence nécessaire de faits bien établis.

Nous n'avons pas à entrer ici dans l'étude des phénomènes lumineux, et nous n'avons besoin d'emprunter à la théorie de la lumière que la notion de la parfaite élasticité de l'éther prouvée par la rapide propagation des vibrations lumineuses, et celle de l'accroissement de sa densité autour des molécules des corps, qui est prouvée par les phénomènes de la réfraction. L'analyse des faits a permis de les établir solidement, et on ne peut espérer donner à une théorie physique plus de certitude que la théorie des ondulations n'en possède. Comme l'étude de la chaleur rayonnante montre que celle-ci est tout à fait assimilable à la lumière, ce que conduit à admettre *à priori* le fait bien connu qu'un morceau de fer chaud, par exemple, devient lumineux quand la température s'élève, atteint le point désigné d'après cette apparence

sous le nom de rouge ou de rouge blanc, il ne saurait être douteux que l'éther n'intervienne dans les phénomènes calorifiques comme dans les phénomènes lumineux, et il est évidemment un puissant moyen de propagation de vibrations, d'impulsions moléculaires.

Au point de vue de la constitution des corps, ce qui importe autant que la nature essentiellement vibratoire de l'éther, c'est son adhérence aux molécules des corps, c'est la formation autour de celles-ci, d'une atmosphère adhérente, essentiellement élastique. On doit considérer comme très-probable que c'est dans celle-ci que doit se trouver la cause qui modifie avec les distances les effets de l'attraction moléculaire, et la fait différer de l'attraction newtonienne en raison inverse du carré de la distance qui est la loi générale de la nature. Nous ne voulons pas insister sur ces questions *qui ont* quelque chose d'hypothétique, et nous n'avons pas besoin de les élucider pour ce travail; nous devons toutefois indiquer le principe formulé par M. Lamé, comme conséquence nécessaire de l'interprétation analytique des phénomènes lumineux, qui doit permettre d'avancer dans ces difficiles questions. « L'étude des phénomènes lumineux prouve, dit-il, que dans les milieux diaphanes, les particules matérielles vibrent *lumineusement*, et que les distances des molécules entre elles sont comparables aux longueurs d'ondulation de la lumière. »

§ VI. — État gazeux.

Nous commencerons l'étude détaillée de la constitution moléculaire des corps par celle de l'état gazeux, en réalité la plus simple de toutes, tous les faits tendant à établir que les forces d'attraction ne s'exercent pas d'une manière sensible entre les molécules qui les constituent et que celles-ci n'obéissent qu'à des forces qui tendent à produire leur expansion indéfinie.

La seule manière, en effet, de comprendre comment les actions mécaniques et calorifiques produisent des effets presque identiques sur les gaz de la nature la plus diverse, c'est qu'aux distances où elles se trouvent les unes par rapport aux autres, les actions réciproques de ces molécules, de masses très-différentes, sont à peu près insensibles. La loi du mélange des gaz semble même donner à cette conception un caractère de néces-

sité absolue. Si dans les gaz les forces moléculaires pouvaient s'exercer, avaient une valeur sensible, cette valeur ne saurait être la même pour les actions qui s'exercent entre deux molécules de même nature et pour celles qui s'exercent entre deux molécules de nature différente. Les propriétés d'un mélange de deux gaz devraient donc être tout à fait différentes de celles d'un gaz simple. Cependant il n'en est absolument rien et, par exemple, entre l'oxygène pur et l'air atmosphérique, il n'y a guère d'autre différence que celle de la densité, mais toutes les propriétés qui paraissent pouvoir dépendre de l'action réciproque des molécules sont identiques. Ainsi donc, les gaz nous apparaissent comme formés de molécules n'ayant d'autre propriété essentielle que de tendre à la diffusion.

A première vue, les gaz se présentent à nous comme formés de molécules possédant une très-grande mobilité; c'est la première remarque que nous suggère la facilité avec laquelle nous accomplissons nos mouvements dans l'air. Aussitôt que nous passons à une étude plus attentive, que nous apprenons à les renfermer dans des enveloppes extensibles, nous reconnaissons que cette mobilité est tout autre que celle due à la facile divisibilité des liquides, puisque, tandis que ceux-ci sont sensiblement incompressibles, les gaz sont essentiellement compressibles. C'est là leur caractère distinctif, dont on fait naturellement découler l'analyse de leur constitution moléculaire.

Celle qui se présentait naturellement à l'esprit paraissait assez satisfaisante, tant qu'on n'a pensé à considérer les phénomènes qu'on étudie en physique qu'à l'état statique et jamais à l'état dynamique. Elle consistait à considérer les molécules gazeuses comme possédant une force répulsive, appartenant essentiellement à leurs molécules par suite de leur combinaison avec le calorique auquel Lavoisier donnait toutes les propriétés essentielles des corps gazeux, car il l'imaginait surtout pour les expliquer, qu'il définissait un fluide impondérable d'une élasticité parfaite. Cette constitution des gaz que l'on enseigne encore chaque jour en France, dont on part pour l'analyse des phénomènes, n'est plus acceptable lorsqu'on n'admet pas l'existence du calorique, quand on reconnaît la vérité de la théorie mécanique de la chaleur démontrée par nombre d'expériences qui infirment, d'une manière absolue, la théorie du calorique.

Proposons-nous d'analyser la constitution moléculaire des gaz d'après les notions exposées plus haut, et en partant de leurs réactions lorsqu'ils sont soumis aux actions mécaniques.

Élasticité des gaz. — Loi de Mariotte. — L'élasticité des gaz se manifeste dès qu'ils sont soumis à des compressions, et la mesure des pressions et des volumes correspondants mène à une des lois les plus considérables de la physique, à la loi de Mariotte, qui a conduit à considérer les gaz comme formés de molécules équidistantes. En effet, pour un volume moitié du volume primitif, ou pour un nombre de molécules double sous un volume égal, la loi de Mariotte indique une pression double, c'est-à-dire que les volumes sont en raison inverse des pressions, et que, en général V, V' étant deux volumes d'un gaz, P, P' les pressions correspondantes, on a toujours :

$$PV = P'V'.$$

Cette loi qui se vérifie facilement par des observations directes, comme en enfonçant dans le mercure un tube fermé renfermant du gaz à la partie supérieure, est-elle absolument exacte? Cela ne semblait pas douteux il y a encore peu d'années, bien que les expériences qui avaient servi à établir la loi de Mariotte fussent d'une médiocre précision. C'est la question que s'est faite M. Regnault, qui, en opérant avec le plus grand soin, a obtenu les résultats consignés dans le tableau suivant, où sont indiquées les pressions en colonnes de mercure nécessaires pour réduire à 1/5, 1/10, 1/15, 1/20 de sa valeur primitive, le volume d'un gaz à partir de la pression initiale produite par 1^m de mercure.

Volume.	Air.	Différence	Acide carb.	Différence	Hydrogène.	Différence
1	.. 1^m	0,000	1^m	0,000	1^m	0,000
1/5	.. 4 ,9794	+ 0,0206	4 ,8288	+ 0,1722	.. 5 ,0116	— 0,0116
1/10	.. 9 ,9162	+ 0,0838	9 ,22622	+ 0,7734	..10 ,0560	— 0,0560
1/15	..14 ,8248	+ 0,1752	13 ,1869	+ 1,8131	..15 ,1395	— 0,1395
1/20	..19 ,7198	+ 0,2802	16 ,7054	+ 3,2946	..20 ,2687	— 0,2687

Ces résultats montrent, d'une manière incontestable, que la

loi de Mariotte n'est qu'approchée, que la courbe qui la représente devient plus convexe ou plus concave, suivant la nature des gaz; leur compression faisant reconnaître deux variations de sens contraire. La supposition que la loi de Mariotte est une loi théorique, se rapportant à un gaz parfait, idéal, ne conduit pas à expliquer ces variations de sens opposé.

En effet, si la différence la plus considérable consignée au tableau, celle qui se rapporte à l'acide carbonique reconnu comme *plus* compressible que n'indique la loi de Mariotte, s'explique d'une manière assez admissible dans les idées anciennes, l'acide carbonique étant un gaz qui se liquéfie sous une pression peu considérable, il n'en est pas de même pour l'hydrogène qui, par sa minime densité indiquant un gaz placé à une très-grande distance de son point de liquéfaction, paraît être un gaz parfait par excellence, et qui se trouve *moins* compressible que ne l'indique la loi de Mariotte. Nous verrons plus loin comment la nouvelle théorie rend compte du fait.

Mouvements des molécules gazeuses.— Si le calorique n'existe pas en tant que fluide élastique impondérable se combinant avec les molécules pondérables, il n'en est pas moins évident que c'est l'action de la chaleur sur celles-ci qui est la cause des propriétés de l'état gazeux. Sans les effets qui lui sont dus, les molécules séparées et sans action les unes sur les autres ne produiraient aucune pression extérieure; cet amas de molécules inertes ne ressemblerait en rien à un corps gazeux. Mais si on suppose ces molécules en mouvement, aussitôt apparaissent toutes les propriétés de ces corps que l'expérience a fait reconnaître. Nous avons déjà montré qu'on arrivait ainsi à un mode de constitution en rapport avec l'expansibilité des gaz; elle fournit de plus des moyens d'analyser des faits de la plus haute importance, dont l'ancienne théorie ne rendait pas compte.

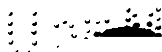
La conséquence nécessaire du mouvement dans toutes les directions possibles de molécules indépendantes les unes des autres, séparées par de très-grands intervalles qu'indique l'accroissement considérable de volume produit lors de la gazéifaction du liquide qui leur donne naissance, c'est que ce mouvement tend à se poursuivre indéfiniment, sans être modifié dans ses effets en tant que consommation de quantité de travail, par les actions mutuelles d'attraction qui peuvent se produire entre les

molécules; il peut tout au plus en résulter des modifications de la forme des trajectoires, par des actions qui ne peuvent durer qu'un instant très-court, puis les molécules s'écartent derechef les unes des autres, et rentrent dans les conditions générales du système. Si on admettait qu'elles se rencontrent et se choquent, comme les masses des molécules sont égales aussi bien que les vitesses, celles-ci ne feraient que changer de direction sans changer de grandeur; l'action exercée par un pareil système sur les parois qui le limitent peut donc être considérée comme identique à celle d'un système dont toutes les molécules chemineraient sans cesse en ligne droite, sans jamais se rencontrer.

Cette conclusion est encore forcée, si au lieu de considérer les mouvements de molécules indépendantes, on les considère comme liées avec celui de l'éther, ce qui paraît plus probable. Alors les mouvements moléculaires dont il y a à tenir compte ne sont plus des mouvements indéfinis de translation, mais des mouvements vibratoires en tous sens, un mouvement dans une direction entraînant nécessairement un autre mouvement transversal, vibrations de sens alternativement opposés, s'accomplissant suivant de petits éléments linéaires à légères inflexions.

Les molécules gazeuses en mouvement venant à rencontrer les parois immobiles du vase qui les renferme, rebondissent en sens contraire, ce qui change la direction de leur mouvement mais non leur vitesse; de telle sorte que l'état du système reste invariable, ces effets se produisant deux à deux. Ce fait fondamental que rend nécessaire le principe de la conservation des forces vives et l'immobilité absolue des parois que choquent des molécules dont la masse est extrêmement petite, quelle que soit la cause qui fait que les choses se passent de la sorte, suffit pour déterminer, d'une manière parfaitement satisfaisante, la pression des parois d'un vase qui renferme un gaz, en partant de la force vive dont sont animées les molécules gazeuses. Cette méthode est due à M. Krœnig, qui, le premier, a formulé scientifiquement cette théorie.

Soit un vase de forme parallélipipédique, divisons-le en $\frac{n}{6}$ petits cubes élémentaires (n étant le nombre des molécules), contenant chacun six atomes gazeux placés à des distances moyennes égales, le système étant à l'état stationnaire, animées



d'une vitesse constante u, et soient x, y, z les grandeurs des trois côtés du vase. Deux des six atomes se meuvent nécessairement parallèlement à l'une des faces du parallélipipède et en sens inverse l'un de l'autre, c'est un résultat forcé de la symétrie du système et du mouvement en tous sens des molécules.

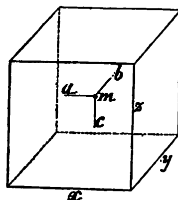


Fig. 3.

Cherchons la pression p exercée sur l'une des parois. Cette pression résulte du nombre de chocs des atomes gazeux et de leur intensité. Si un seul atome rencontrait la paroi, la pression serait proportionnelle à a, a désignant le nombre des rencontres avec la face pendant l'unité de temps. D'ailleurs u étant la vitesse de la molécule gazeuse, et m sa masse, mu sera la pression qu'elle exercera lorsqu'elle agira sur la paroi ; la pression sera donc proportionnelle à mua. Si l'on désigne par z la dimension du parallélipipède perpendiculaire à la paroi pour laquelle on cherche la pression, il est facile de voir que chaque atome mobile, parallèlement à cette dimension, doit rencontrer la paroi considérée, toutes les fois qu'il a parcouru le chemin correspondant à l'aller et au retour, $2z$; d'où il suit que l'on a : $a = \frac{u}{2z}$.
La pression totale p produite par chaque atome sera donc $\frac{mu^2}{2z}$, et en multipliant pour une face du cube entier par le nombre des atomes parallèles à une face ou $2\frac{n}{6}$, et divisant par l'étendue xy de la paroi considérée, on aura la pression rapportée à l'unité de surface, ou

$$(6) \quad p = mu\frac{u}{2z}\frac{n}{3}\frac{1}{xy} = \frac{1}{6}\frac{nmu^2}{v}, \text{ puisque le volume } v = xyz.$$

Ce mode de calcul revient à ramener tous les mouvements moléculaires à trois axes rectangulaires, ce que permet la multiplicité infinie des directions diverses, fournissant des composantes suivant les directions des trois axes.

Ce calcul est équivalent en réalité à celui employé pour déterminer la pression d'un fluide sur une surface, en partant des

mouvements virtuels de la masse totale, au lieu de partir des phénomènes moléculaires; il se fait ainsi qu'il suit.

Si une fraction de la paroi, égale à l'unité, venait à se mouvoir sous la pression d'un gaz (et, par suite, à consommer tout le travail virtuel qu'elle peut produire simultanément par sa pression sur les trois faces), pour un accroissement de volume dv, H étant la hauteur d'une colonne gazeuse, engendrant la pression p par son poids, $H \times D$ serait la pression, D étant le poids de l'unité égal à $\frac{P}{v}$, P étant le poids d'un volume v de gaz, et comme d'ailleurs u étant la vitesse de sortie, $u^2 = 2gH$, on a donc :

$$pdv = D \times Hdv = \frac{D}{2g} u^2 dv,$$

ou enfin

$$p = \frac{P}{g} \frac{u^2}{2v} = \frac{1}{2} \frac{n m u^2}{v};$$

car $\frac{D}{g}$ est la masse totale que nous avons appelé nm plus haut; et la formule est, on voit, la même que celle trouvée ci-dessus, le second membre étant multiplié par le nombre 3; en effet, il s'agit ici de la vitesse des mouvements de la masse, concentrés sur une seule face, et non des mouvements moléculaires, qui se produisent suivant les trois axes, ce qui répond au travail virtuel sur une seule face de la totalité de la pression.

Conséquences de la formule obtenue. — La formule (6) offre beaucoup d'intérêt par les conséquences curieuses qu'on peut en tirer.

1° Elle établit sur une base bien compréhensible la loi de Mariotte, assez obscure dans l'ancienne théorie; c'était quelque chose d'insolite, dans les phénomènes naturels, que cette action répulsive variant proportionnellement à l'écartement des molécules. Au contraire, ici la constance de pv est le résultat nécessaire de la constance du nombre de molécules, u^2 étant constant.

Les variations de compressibilité des divers gaz, relativement à la loi de Mariotte, ne sont pas contraires à ce mode de constitution de corps gazeux. L'accroissement de compressibilité s'explique d'une manière satisfaisante par l'intervention de l'attrac-

tion qui, à mesure que la pression est plus voisine de celle qui répond au point de liquéfaction, vient concourir de plus en plus à produire le même effet de réduction de volume que la compression. La force d'attraction et la densité, le poids atomique, quand on compare des corps différents, ont une influence dont il importe de tenir compte dans chaque cas particulier. En effet, la substitution de trajectoires linéaires aux éléments hyperboliques, qui varient différemment pour les divers gaz avec la compression, fait laisser de côté l'attraction inter-moléculaire, ce qui ne saurait avoir lieu sans négliger les coefficients propres à chaque corps en particulier ; et cependant un corps réel ne saurait jamais être réduit, si ce n'est pour l'étude générale et préliminaire, à une abstraction mathématique. Les lois ainsi obtenues ne peuvent jamais, sans introduire dans les formules les éléments propres à chaque cas, s'appliquer à un corps déterminé, et il doit y avoir, dans les gaz et les vapeurs, des variations considérables depuis le point où l'attraction agit entre les molécules presque comme dans un liquide, où il est une vapeur saturée, jusqu'au point où cette attraction étant presque nulle, l'écart moléculaire est très-grand et la densité minime.

Dans le premier cas, comme je l'ai déjà dit, la diminution de la distance moyenne des molécules et l'accroissement de la force d'attraction qui en résulte rendent bien compte de l'accroissement de compressibilité; dans le second, dont nous avons un exemple dans l'hydrogène , gaz qui doit être rangé dans une classe à part, à cause de sa faible densité, et de la grande vitesse tout exceptionnelle du mouvement de ses molécules (voir ci-après), pour toute compression exercée, bien avant le point où l'attraction intervient par suite d'une diminution notable de l'écartement moléculaire, la présence des molécules matérielles et de l'éther plus dense que l'éther ambiant qui les entoure fait naître une résistance supplémentaire qui explique pourquoi la diminution de volume n'est pas proportionnelle à la force de compression, comment diminue la compressibilité.

2° Elle montre qu'un accroissement ou une diminution de la vitesse moléculaire accompagne nécessairement une augmentation ou une diminution du volume v, p restant constant, c'est-à-dire une production ou une consommation de travail extérieur. On entrevoit comment, d'après cela, la chaleur engendre du

travail mécanique et inversement. Cette importante question mérite une étude toute spéciale; nous donnerons néanmoins ici le principe de l'explication de ces phénomènes, à cause de sa grande valeur comme vérification des principes précédents.

C'est, en effet, un résultat capital de la nouvelle conception de la constitution des gaz considérés comme formés de molécules en mouvement (constitution qu'avait entrevue, dès 1738, Daniel Bernouilli dans son HYDRODYNAMIQUE, comme on a été bien étonné de le reconnaître récemment[1]), que d'expliquer parfaitement comment prennent naissance les phénomènes calorifiques et mécaniques qui apparaissent lors de la compression ou de la dilatation des gaz et des vapeurs, et la lumière qu'elle apporte dans l'analyse, impossible auparavant, de phénomènes d'une importance tout à fait majeure, est la démonstration la plus certaine de son exactitude.

La conséquence nécessaire de cette constitution est évidemment que lorsqu'un gaz se détend, lorsque, par exemple, dans une machine à vapeur, le piston s'avance par l'effet de la pression de la vapeur, les molécules gazeuses, venant choquer une paroi qui se meut dans le même sens qu'elles, ne peuvent retourner en arrière qu'en vertu de la différence des deux vitesses, c'est-à-dire avec une vitesse moindre que celle initiale. Le gaz se refroidit donc, et la diminution des forces vives des molécules gazeuses qui

1. Il est bien curieux de voir que le mode de constitution des corps gazeux auquel parvient la science moderne a été formulé plus d'un demi-siècle avant que Lavoisier eût imaginé l'hypothèse du calorique, qui nous paraît plus simple uniquement parce qu'on nous l'a professé dès les premières leçons de physique que nous avons pu entendre. Il est certes moins aisé de concevoir un fluide impondérable produisant les effets de la chaleur quand il entre dans un corps, quand il se combine avec ses molécules, que de considérer celles-ci comme animées d'un mouvement. La logique comme l'ancienneté militent donc en faveur de la constitution des corps gazeux formulée dès 1738 par D. Bernouilli, et retrouvée de nos jours par Hérapath, Krœnig et Clausius.

Nous reproduirons ici le passage le plus remarquable de l'ouvrage de D. Bernouilli :

HYDRODYNAMICA. — SECTIO DECIMA.

De affectionibus atque motibus fluidorum elasticorum, præcipue autem aeris.

§ 2. Finge itaque vas cylindricum verticaliter positum ACDB (*fig.* 56), atque in illo, operculum mobile EF, cui pondus P superincumbat : contineat cavitas

s'appelle chaleur est précisément égale au travail que transmet la tige du piston.

Un effet exactement inverse répond à la compression, et on comprend facilement de même, comment le travail consommé engendre un échauffement, un accroissement de forces vives calorifiques précisément égal à ce travail.

Ces conséquences, conformes à l'expérience, à l'emploi de la chaleur pour produire un travail mécanique, rendent ces phénomènes de production ou mieux de communication de forces

ECDF corpuscula minima motu rapidissimo hinc inde agitata : sic corpuscula, dum impingunt in operculum EF idemque suis sustinent impetibus continue repetitis, fluidum componunt elasticum quod remoto aut diminuto pondere P sese expendit : quod eodem aucto condensatur, etc. quod in fundum horizontalem CD haud aliter gravitat, ac si nulla virtute elastica esset præditum : sive enim quiescant corpuscula sive agitentur, non mutant gravitatem, ita ut fundus tum pondus tum elasticitatem fluidi sustineat,

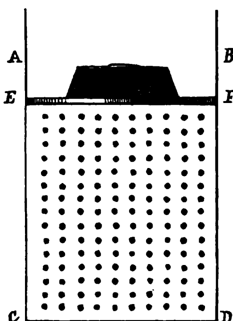


Fig. 1.

Tale igitur fluidum, quod cum primariis convenit fluidorum elasticorum affectionibus, substituemus aeri, atque sic alias, quæ jam in aere detectæ fuerunt, explicabimus, aliasque nondum satis perpensas ulterius illustrabimus proprietates.

HYDRODYNAMIQUE. — CHAP. X.

Des propriétés et des mouvements des fluides élastiques et principalement de l'air.

« Supposons donc un vase cylindrique posé verticalement, dans lequel peut se mouvoir un piston mobile EF chargé d'un poids P, et que la capacité ECDF renferme de petites particules agitées de mouvements rapides en tous sens. Alors ces particules, pendant qu'elles choquent le piston EF et le soutiennent par leurs chocs continuellement répétés, constituent un fluide élastique qui augmentera de volume si on enlève ou diminue le poids P, qui diminuera de volume si on l'augmente ; enfin qui ne pèsera pas autrement sur le fond CD, que s'il n'était doué d'aucune élasticité ; car soit que les particules soient en repos, soit qu'elles se meuvent, la gravité n'est pas changée, aussi le fond supporte-t-il à la fois le poids et la pression élastique du fluide.

« Tel est par suite le fluide possédant les mêmes propriétés fondamentales que les fluides élastiques que nous substituerons à l'air, et nous pourrons ainsi expliquer par la suite, non-seulement les propriétés déjà reconnues à l'air, mais encore d'autres qui n'ont pas encore été suffisamment analysées. »

vives parfaitement nets. Ils remplacent avec grand avantage une obscure correspondance entre quantités hétérogènes, travail mécanique et chaleur, qui, dans l'ancienne physique, n'offrait rien de satisfaisant à l'esprit, que la certitude du fait forçait seule d'accepter malgré ce qu'il présentait d'illogique.

3° On peut enfin de l'équation (6) déduire la valeur de u de la vitesse rectiligne moyenne du mouvement de la molécule gazeuse. On a ainsi pour 1 mètre cube et la pression atmosphérique par mètre carré égale à 10330, $p = 10330 = \frac{1}{6} n m u^2 = \frac{1}{6} \frac{\pi}{g} u^2$, π étant le poids du mètre cube.

On trouve ainsi pour les principaux gaz :

	Poids du mètre cube.	Vitesse par seconde.
Air	1^k,299	623^m
Hydrogène	0 ,088	2,396
Oxygène	1 ,433	593
Azote	1 ,268	624
Chlore	4 ,209	347
Protoxyde d'azote	1 ,977	504
Oxyde de carbone	1 ,243	620
Acide carbonique	1 ,981	500
Acide sulfureux	2 ,849	420
Ammoniaque	0 ,766	811

Ces vitesses de vibration sont sans doute énormes et étonnent à première vue quand il s'agit de molécules qu'on était habitué à considérer comme en repos; mais il faut, quand la science entre dans des voies nouvelles, savoir ne pas se trop préoccuper de ce que l'on a autrefois admis par habitude. Il faut se rappeler d'ailleurs que les vibrations des molécules ne nous sont pas perceptibles sous forme de mouvement, mais seulement sous celle de chaleur. Il est d'ailleurs des faits inexplicables dans l'ancienne manière de raisonner et qui sont en rapport avec des vitesses aussi grandes. Telles sont les ruptures des vases les plus résistants produites par une gazéifaction instantanée, comme on le voit dans des cas inexplicables d'explosions de chaudières à vapeur et dans l'emploi de certaines poudres brisantes. Elles sont d'ailleurs petites (et d'autant moindres que la masse de l'atome est plus grande, l'unité de volume renfermant le même nombre de molécules gazeuses, d'après la loi de Gay-Lussac sur les combinaisons des corps gazeux en rapport simple de volumes), rela-

tivement à celle de l'éther qui leur imprime bien probablement les vitesses déterminées ci-dessus.

De l'hydrogène. — Je reviendrai ici sur les propriétés de l'hydrogène et de ses composés qui doivent être rangés dans une classe à part, à cause de leur faible densité et par suite de la grandeur de leur vitesse moléculaire. De cette vitesse, si elle est réelle, doit résulter une grande difficulté pour les conserver dans des vases fermés, pour peu que ceux-ci soient poreux. C'est surtout à cette cause que sont dus les curieux effets signalés dans une intéressante note de M. H. Deville, que je rapporterai ici, car ils paraissent un résultat assez direct de cette extrême mobilité des atomes.

« 1° On prend un tube de terre ou grès non verni et on le fait traverser par un courant rapide d'hydrogène venant d'un gazomètre. Le vase de terre est fermé par deux bouchons de liége ou de caoutchouc traversés par deux tubes de verre. L'un amène l'hydrogène, l'autre le laisse sortir et vient, en se courbant, plonger dans l'eau d'une cuve. Ce dernier tube doit avoir 1 mètre de longueur environ. Si l'on ferme rapidement le robinet qui permet à l'hydrogène de s'écouler, non-seulement les bulles de gaz cessent de se produire à la surface de la cuve, mais encore l'eau monte brusquement jusqu'à une hauteur de 60 à 70 centimètres au-dessus de son niveau, comme si l'hydrogène était aspiré dans l'intérieur de l'appareil. L'eau ne redescend ensuite qu'avec une certaine lenteur.

« Avec le gaz de l'éclairage, le même phénomène se produit encore; mais l'aspiration est moindre et paraît en rapport avec la densité de ce gaz. Avec l'acide carbonique l'aspiration est nulle : elle indique dans chaque cas le degré de perméabilité de la paroi relative à chacun de ces gaz.

« 2° Si l'on fait arriver l'hydrogène dans l'intérieur du tube avec plus de lenteur, mais plus rapidement qu'on ne le fait marcher dans la plupart de nos opérations chimiques, on recueille sur la cuve à eau un gaz qui n'est plus de l'hydrogène, mais bien de l'air pur contenant 20,9 pour 100 d'oxygène.

« 3° Si l'on porte le tube de terre dans un foyer incandescent et au milieu des charbons ardents, en laissant à l'appareil la disposition que je viens de décrire et maintenant le courant d'hydrogène, on recueille à l'extrémité du tube abducteur un mélange d'acide carbonique et d'azote (et de l'acide sulfureux si le combustible est du coke pyriteux), c'est-à-dire les gaz de la combustion dont le tube rougi est entouré. En plongeant le tube abducteur dans du mercure et soumettant les gaz intérieurs à une pression de 7 à 8 centimètres de mercure, la plus haute

que mes appareils puissent supporter, je n'ai pu empêcher les gaz du fourneau de pénétrer librement dans l'intérieur du tube de terre, et même j'ai observé que, dans ces circonstances, je pouvais augmenter beaucoup la vitesse de l'hydrogène sans qu'il vînt s'en présenter en quantité sensible à l'extrémité du tube de dégagement.

« 4° On peut rendre cette expérience saisissante par la disposition suivante. On enferme le tube de terre dans un tube de verre plus large et disposé concentriquement autour de lui. Au moyen de bouchons de liége convenablement percés et fermant hermétiquement les deux tubes, on fait arriver de l'acide carbonique dans l'espace annulaire compris entre eux pendant que l'hydrogène traverse le tube de terre : les deux gaz sortent par deux tubes abducteurs distincts. L'un des deux courants de gaz est inflammable, et c'est précisément celui qui sort par l'extrémité de l'appareil communiquant directement avec la source d'acide carbonique. Les deux gaz ont donc changé d'enveloppe dans ce court et rapide trajet. »

LIQUÉFACTION DES GAZ.

Les actions mécaniques exercées sur les gaz produisent un effet particulier propre à jeter une vive lumière sur leur constitution intérieure.

Un travail mécanique appliqué à un corps solide, peut détruire les cohésions des molécules, rompre le corps en plusieurs morceaux, mais chaque morceau est un corps solide, dont l'état physique est toujours celui du corps primitif.

Les liquides sont divisés presque sans efforts en autant de parties que l'on veut, sans que leur nature soit aucunement modifiée, et cette facile divisibilité est le caractère essentiel de la liquidité.

Les gaz augmentent de volume jusqu'à ce qu'un effort soit opposé à leur expansion, sans changer de nature; mais si on leur applique un travail mécanique en sens contraire pour rapprocher leurs molécules, augmenter leur densité, il arrive, en continuant suffisamment cette action, qu'après la consommation d'une quantité de travail mécanique convenable, on atteint un degré de compression où se produit un changement d'état, où à la place d'un gaz apparaît un liquide, où le gaz est *liquéfié*.

La conséquence directe de ce fait important, de cette transformation, c'est que la liquéfaction pouvant être produite par un

travail mécanique, un changement d'état inverse, la gazéifaction engendrée par la chaleur ne pourra résulter que de causes pouvant se ramener à un semblable travail, à moins de supprimer toute relation de cause à effet. C'est une preuve directe de la nature mécanique du principe de la chaleur, qu'un effet directement inverse de celui qu'elle produit soit engendré par un travail mécanique. La liquéfaction des gaz par travail mécanique démontre donc encore clairement la vérité du mode de constitution qui vient d'être exposé.

J'indiquerai ici quelques-uns des résultats des effets de liquéfaction des divers gaz par procédés purement mécaniques, ne voulant pas traiter ici des moyens frigorifiques qui peuvent s'y ajouter et en augmenter beaucoup les effets, comme on devrait le faire dans une analyse spéciale de cette question.

Procédé mécanique. — L'emploi de pompes de compression pour liquéfier les gaz, comme pour les réduire à un moindre volume sans causer de changement d'état, est le procédé qui vient le premier à l'esprit; son application présente, toutefois, des difficultés quand les pressions deviennent considérables.

Nous donnons ici la disposition employée par M. Pouillet (fig. 5).

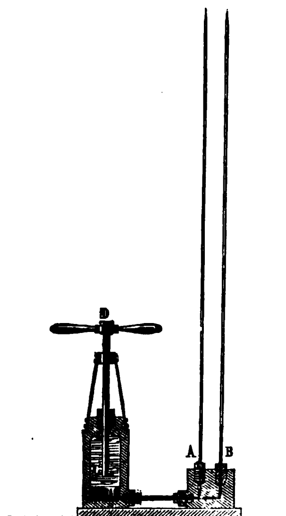


Fig. 5.

Ce savant renfermait dans un tube cylindrique le gaz à comprimer, et dans un autre placé à côté, l'air destiné à donner la mesure de la pression. Le bas de ces tubes était assemblé à vis, dans une caisse pleine de mercure, communiquant avec une autre caisse pleine du même liquide, dans lequel se trouvait un piston plongeur. La partie supérieure de ce piston était une vis qui passait dans la partie supérieure de la caisse taillée en écrou; de la sorte, il était facile de faire descendre le plongeur, et de produire à la main des pressions très-considérables.

Voici les résultats obtenus par ce savant.

La compression, poussée jusqu'à 100 atmosphères, n'a eu aucun effet sur l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone. Ils se sont comprimés à peu près comme l'air atmosphérique. Les gaz hydrogène protocarboné et bicarboné ne se sont pas liquéfiés non plus; ils sont sensiblement plus compressibles que l'air. M. Faraday est parvenu à liquéfier le second par le froid.

2° L'acide carbonique s'est liquéfié à 45 atmosphères, la température étant de 10°; le protoxyde d'azote s'est liquéfié à 43 atmosphères; l'ammoniaque s'est liquéfiée sous une pression de 4 atmosphères, et le gaz sulfureux sous une pression de 2,75 atmosphères. Ces gaz sont notablement plus compressibles que l'air dès que leur volume est réduit au tiers ou au quart, et cet effet va en croissant à mesure qu'on se rapproche du point de *liquéfaction*.

Je décrirai encore les procédés de liquéfaction du gaz par moyens mécaniques adoptés par M. Regnault, qui a étudié les propriétés des liquides formés.

« Je prépare, dit-il, l'acide carbonique gazeux en faisant arriver, d'une manière continue et réglée, de l'acide chlorhydrique convenablement étendu sur du marbre concassé et renfermé dans un très-grand flacon en verre. La dissolution privée d'acide, et chargée de chlorure de calcium, s'écoule à mesure qu'elle se produit; le gaz acide carbonique se rend dans un gazomètre de 1 mètre cube de capacité. Une pompe foulante, à plusieurs corps de pompe, et mue par une machine à vapeur, puise le gaz dans le gazomètre en lui faisant traverser préalablement des matières desséchantes. Elle refoule le gaz dans un premier récipient de 3 à 4 litres de capacité, qui sert seulement de régulateur; le gaz passe ensuite librement dans l'appareil où il doit se condenser et qui plonge dans un mélange réfrigérant de glace et de chlorure de calcium cristallisé. Le gaz non condensé se rend dans un second récipient fermé de 5 litres, placé à la suite de l'appareil. C'est dans ce dernier récipient que se rendent l'air et les gaz étrangers non liquéfiables, que l'on peut faire sortir de temps en temps, en ouvrant un robinet.

« La même disposition peut servir à liquéfier, en grandes quantités, le protoxyde d'azote, l'hydrogène sulfuré. Mais pour ces gaz qui s'altèrent facilement au contact des graisses et des

pistons des pompes, j'emploie une pompe foulante spéciale, dans laquelle le gaz n'est en contact qu'avec le mercure. Cette pompe se compose de deux corps de pompe, égaux, en fonte de fer et réunis en U. Le premier corps de pompe est alésé; il contient le piston plein qui, dans son mouvement, agit uniquement sur une quantité de mercure remplissant exactement l'un des corps de pompe. Le système des deux soupapes aspirante et foulante est monté sur le second corps de pompe. On conçoit que, par cette disposition, le gaz n'arrive jamais au contact du piston, ni des parois graissées.

« L'ammoniaque liquide, à cause de la facilité avec laquelle on la prépare et on la recueille ensuite quand elle a pris l'état gazeux, a surtout fixé mon attention. Je prépare l'ammoniaque gazeuse en faisant arriver, d'une manière continue, un filet de dissolution concentrée d'ammoniaque dans un manchon en cuivre renfermé dans une petite chaudière qui contient de l'eau maintenue en ébullition par une lampe à gaz. Le manchon se trouve ainsi toujours enveloppé de vapeur d'eau bouillante; l'ammoniaque coule, en spirale, le long des parois, et la liqueur, presque privée d'ammoniaque, s'écoule par une tubulure inférieure plongeant de plusieurs décimètres dans le liquide précédemment écoulé. Le gaz ammoniac, aspiré par la pompe, traverse plusieurs récipients en cuivre, remplis de fragments de chaux sodée; la pompe règle, elle-même, la production du gaz et l'envoie dans le récipient plongé dans un mélange réfrigérant de glace et de chlorure de calcium hydraté. A l'aide de cette disposition, on peut obtenir facilement, en quelques heures, plusieurs litres d'ammoniaque liquide. »

Calcul du travail mécanique consommé pour liquéfier un gaz. — On peut calculer approximativement ce travail connaissant la pression à laquelle la liquéfaction a lieu, en admettant l'exactitude de la loi de Mariotte, qui est sûrement en défaut d'une manière grave près du point où le changement d'état se produit, et qui ne peut être appliquée qu'à une distance assez grande de ce point. Ce calcul ne doit donc être considéré que comme fournissant une approximation, une valeur trop forte qui est une limite supérieure de la quantité du travail nécessaire, puisque les résistances réelles du gaz qui se liquéfie sont moindres que celles que l'on fait entrer dans le calcul.

Soit P la pression d'un gaz en un instant quelconque, V son volume, cherchons le travail qui sera nécessaire pour l'amener de la pression atmosphérique P_0 et du volume V_0, à la pression P_1 et au volume V_1, au moment où la liquéfaction commence à se produire. Le travail élémentaire pour un accroissement de volume dv sera $P\,dv$, et l'intégrale $\int P\,dv$ prise entre les limites V_1 et V_0 donnera le travail total T; comme d'ailleurs d'après la loi de Mariotte $P_0 V_0 = P V$, on pourra donc écrire

$$(7)\quad T = \int_{V_1}^{V_0} P\,dv = P_0 V_0 \int_{V_1}^{V_0} \frac{dv}{V} = P_0 V_0 \log.\text{ hyp. } \frac{V_1}{V_0}.$$

(Cette forme logarithmique que l'on rencontre fréquemment, *n'est, on* le voit, que l'expression de la loi de Mariotte.)

Pour avoir la totalité du travail employé à effectuer la liquéfaction, il faut ajouter à l'expression du changement de volume donné ci-dessus celle du travail de compression à pression constante, qu'il faut continuer lorsque le gaz arrive à l'état de vapeur saturée, lorsque le liquide commence à se former.

Le volume du liquide produit étant très-petit par rapport à celui du gaz, ce travail sera extrêmement voisin de $P_1 V_1 = P_0 V_0$, il n'y aurait de correction à faire que celle répondant au volume occupé en chaque instant par le liquide formé, volume négligeable par rapport à celui du gaz.

Le travail de la liquéfaction d'un gaz, à partir de la pression atmosphérique, est donc pour un litre $10{,}330\left(1 + \log.\text{ hyp. } \frac{V_0}{V_1}\right)$.

Si on voulait obtenir la mesure de toute la puissance élastique du gaz, il faudrait tenir compte du travail résistant qu'a surmonté le gaz pour se dégager, lors de sa préparation sous la pression atmosphérique, de la force vive qui lui a été communiquée et qui fait qu'il occupe au commencement de la compression, sous la pression P_0, le volume V_0. On peut encore obtenir cette mesure par des déterminations prises à l'état statique, sans les difficultés d'évaluation de l'état dynamique, car cette quantité est encore égale à $P_0 V_0$, quantité qui doit être ajoutée à l'expression ci-dessus. La formule complète du travail de gazéifaction d'un gaz qui, pris à la pression de l'atmosphère, est liquéfié

lorsque, à température constante, son volume initial V_0 est réduit à V_1, est donc :

$$(6) \qquad T = 10,330 \left(2 + \text{log. hyp. } \frac{V_0}{V_1}\right).$$

En calculant ainsi, nous trouverons par exemple : pour le gaz carbonique qui se liquéfie sous une pression de 45 atmosphères, 59,81^{km} par litre, 30000 par kil.; pour le gaz ammoniac qui se liquéfie sous une pression de 4$^{atm.}$ 34,977 par litre et 45653 par kilogramme.

Dans un prochain article, nous compléterons ce travail, en analysant l'état solide et l'état liqûide comme nous venons d'étudier l'état gazeux. Nous formulerons ensuite quelques relations analytiques qui se déduisent naturellement de la conception dynamique de l'état des corps.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR LA MACHINE A AIR CHAUD DE M. LAUBEREAU.

Depuis plusieurs années déjà, M. Laubereau s'occupe de la construction de machines motrices, à air chaud, dans lesquelles la pression de cet air est déterminée par son introduction dans une capacité relativement chaude, cette action se renouvelant de la même façon et avec le même air, qui est refroidi après chaque réchauffement, lors de son retour dans la capacité primitive.

Nous avons eu plusieurs fois l'occasion d'étudier la machine de M. Laubereau dans les diverses Expositions; mais elle n'avait jamais fonctionné d'une manière suivie. A l'Exposition de Londres, au contraire, une machine de ce système, construite et améliorée, dans plusieurs de ses détails, par M. Schwartzkopf, habile constructeur de Berlin, avait appelé l'attention du jury, à l'égal de la machine d'Ericcson. Désireux de la comparer à cette dernière, sous le rapport de l'utilisation du combustible, nous avons tenu à nous procurer un spécimen de ces machines, dont M. Schwartzkopf est devenu le cessionnaire en Allemagne, et qui, sous leur forme actuelle, paraissent mieux répondre que par le passé aux conditions d'un bon service.

Les expériences ont d'ailleurs été faites en présence de M. Laubereau, qui a eu toute liberté de conduire le fonctionnement de sa machine dans les conditions les plus favorables.

Six expériences ont été successivement faites, et dans plusieurs d'entre elles on a déterminé quelques chiffres accessoires, qui,

tout en n'étant pas indispensables pour apprécier la dépense du combustible, par force de cheval, n'en ont pas moins, au point de vue de l'équivalent mécanique de la chaleur, un certain intérêt.

Les diverses déterminations ont été fréquemment répétées, dans chaque expérience, afin de permettre de fractionner les résultats dans le cas où l'on voudrait se rendre compte de la régularité du régime de la machine, pendant toute la durée de son fonctionnement.

1re *expérience sur la machine de M. Laubereau,* 29 *septembre* 1862.

Le chauffage se fait avec du coke; l'allumage a lieu à 10h.30, à 1 heure la machine est prête à fonctionner; pendant la mise en train, on brûle 10k.30 de coke.

Le travail est mesuré à l'aide d'un frein, dont la poulie a 1 mètre de diamètre, et dont le bras de levier est de 2 mètres.

HEURES des observations	COKE mis en consommation.	NOMBRE total des tours.	NOMBRE moyen de tours par 1'.	POIDS au frein.	TRAVAIL moyen en kilogrammètres par 1".	EAU dépensée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU	
							à l'arrivée	au départ.
1h.0'	7k.30	0	0' 0	7k00	0			
1 .30		1140	33.0	7.00	55.70		18°5	40°0
2 .0		2240	37.3	7.00	54.68		18.5	42.0
2 .30	4 .60	3500	38.8	7.00	56.28		18.5	36.0
3 .0		4800	40.0	7.00	58.64		18.5	32.5
3 .30	3 .40	6085	40.6	7.00	59.52		18.5	32.0
4 .0		7395	40.1	7.00	58.79	1500	18.5	36.0
4 .30	0 .70	8655	41.2	7.00	60.40	1700	18.5	34.5
5 .0		9945	41.5	7.00	60.84	2100	18.5	33.0
5 .30		11200	41.5	7.00	60.84	2300	18.5	33.0
5 .45		11825	41.7	6.00	60.07	2500	18.5	34.0
6 .0		12400	38.3	6.00	59.76	2700	18.5	36.0
5h.0	16k.00	12400					18.5	35.5

Considérée dans son ensemble, cette expérience indiquerait une consommation de 16 kilogrammes, pour un travail moyen de 59,76 kilogrammètres, prolongé pendant cinq heures, ce qui reviendrait à celle de $\frac{16 \times 75}{5 \times 59.76} = 4^{k},01$, par force de cheval et par heure.

Mais si l'on remarque qu'après la première dépense de 10k.30 employés à l'allumage, la machine était, eu égard à ses conditions de température, en état de supporter les 7 kilogrammes attachés au levier du frein, il paraîtrait juste de supprimer les deux dernières observations, pour lesquelles ce poids a cessé de pouvoir être soulevé et dont le travail peut être considéré comme la représentation du combustible dépensé pour échauffer la machine avant sa mise en marche; la consommation se calculerait alors par le rapport

$$\frac{16 \times 75}{4.5 \times 60.84} = 4^{k}.38.$$

Pendant le même temps, l'eau employée au refroidissement de la machine a été de 1500 litres, dont la température s'est élevée de 18°.50, à 35°.50 ou de 17°.

Il ne serait pas nécessaire, en pratique, d'employer un volume d'eau aussi considérable, mais la quantité de chaleur à enlever à la machine, pour la maintenir en bon état de régime, n'en serait pas moins de $1500 \times 17.4 = 25500$ calories en $4^{h}.30'$, ou de 570 calories par heure.

La température de la fumée a été observée, à plusieurs reprises, à la sortie de la cheminée en tôle; elle est restée à peu près constante à 102°; mais cette température est bien inférieure à celle que les gaz brûlés conservaient immédiatement après la sortie de la machine.

Le dernier chargement de combustible a eu lieu à $4^{h}.30'$, et il importe de faire remarquer que la machine a encore fonctionné pendant $1^{h}.30'$, sans introduction de nouveau coke et sans aucun soin donné au foyer.

2e expérience sur la machine de M. Laubereau, 30 *septembre* 1862.

Le chauffage se fait avec du coke; l'allumage a lieu à $10^{h}.7'$; à $11^{h}.17'$ la machine commence à fonctionner; pendant la mise en train on brûle 9k.40 de coke.

Le travail est mesuré à l'aide du même frein.

HEURES des observations.	COKE mis en consommation.	NOMBRE total des tours.	NOMBRE moyen de tours par 1'.	POIDS au frein.	TRAVAIL moyen en kilogrammètres par 1".	EAU dépensée	TEMPÉRATURE DE L'EAU	
							à l'entrée.	à la sortie.
11h17'	16k.60	0	0'0	5k00			18°0	
11.30		467	36.0	5.00	37.62			28°0
11.45		976	34.8	5.00	34.12			27.0
11.51		1200	35.3	5.00	36.96			
12.2		arrêt.		7.00				
12.34		2400	36.5	7.00	45.68			38.0
1.0		3380	36.7	7.00	48.39	800		34.0
1.30		4520	37.1	7.00	48.98			34.0
1.47		5090	36.6	7.00	50.06			
2.0		5590	36.8	7.00	50.58			35.0
2.30		6780	37.2	7.00	51.85	1600		35.0
3.0		7969	37.6	7.20	52.18			35.0
3.12		8390	37.4	7.40	53.04			
3.37		9150	38.2	7.50	54.71	2200		36.0
4.0	2k.00	10290	40.4	7.50	58.99			37.0
4.30		11430	40.5	7.50	59.06	2700		36.0
4.47		12015	40.2	7.50	59.33			
5.0		12515	40.1	6.00	58.88			35.0
5.12		12915	37.1	6.00	58.24			35.0
5.21		13330	39.9	5.00	57.98	3100		
5.30		13510	39.5	4.00	57.13	3200		
	18k.60						18.0	34.2

Le travail moyen étant de 57.13 kilogr. par seconde, pour une durée effective de $6^h.2'$, la consommation par force de cheval et par heure serait mesurée par l'expression $\frac{18.60 \times 75}{6.03 \times 57.13} = 3^k.87$.

Si, conformément à ce qui a été fait précédemment, on arrêtait l'expérience au moment où le poids de 5 kilog. surchargeait la machine, le chiffre correspondant serait

$$\frac{18.60 \times 75}{5.90 \times 57.98} = 4^k.07.$$

Quant à la quantité de chaleur emportée par l'eau de refroidissement, elle s'élève par heure à

$$\frac{3100}{5.90} \times 16^\circ.2 = 851 \text{ calories},$$

et cette quantité correspond à une dépense d'eau de 3100:5.90 = 525 litres pendant le même temps.

L'expérience suivante a été faite en employant un frein de plus petite dimension, et en chargeant un peu moins la machine, le

poids soutenu ayant été porté à 9 kilogrammes, en même temps que la longueur du levier a été réduite de 2 mètres à 1m.20.

3e *expérience sur la machine de M. Laubereau*, 2 *octobre* 1862.

Le chauffage se fait avec du coke; l'allumage a lieu à 9h.13'; à 11h.8' la machine commence à fonctionner; pendant la mise en marche on a consommé 10k.46 de coke.

Le travail est mesuré à l'aide d'un frein dont le bras de levier est de 1m.20.

HEURES des observations.	COKE mis en consommation.	NOMBRE total des tours.	NOMBRE moyen de tours par 1'.	POIDS au frein.	TRAVAIL moyen en kilogrammètres par 1''.	EAU dépensée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU à l'entrée.	à la sortie.
11h8'	8k.14	0	0' 0	9k00			18°	
11.38		980	32.6	9.00	36.87	300	18°	26°
11.50		1520	30.8	9.00	34.83			
12.00		arrêt.		9.00				
12.45		3325	38.2	9.00	43.20	900		33
1.0	9k.40	3985	39.1	9.00	44.19			33
1.39		5485	38.9	9.00	43.90			34
2.5		6555	39.3	9.00	44.45			
2.34		7535	38.4	9.00	43.45			35
3.2		8900	39.8	9.00	45.01			36
3.30		10055	39.9	9.00	45.13			36
4.0		11230	39.8	9.00	45.01	2600		36
4.30	0k.90	12500	40.1	9.00	45.35			36
5.0		13685	40.0	9.00	45.24	3200		36
5.18		14250	39.9	9.00	44.78	3350		
	18k.44						18°	34.1

Le frein ayant porté la même charge pendant toute la durée de cette expérience, la consommation par force de cheval ne laisse aucune incertitude et est exprimée par

$$\frac{18^{k}.44 \times 75}{5.16 \times 44.78} = 5^{k}.98$$

La quantité d'eau dépensée par heure s'est encore élevée à

$$3350 : 5.16 = 649 \text{ litres.}$$

4e *expérience sur la machine Laubereau*, 8 *octobre* 1862.

L'allumage, commencé à 9h.30', a employé 9k.70 de coke, en 2 heures.

Le travail est mesuré avec le même frein que dans l'expérience précédente.

HEURES des observations.	COKE mis en consommation.	NOMBRE total des tours.	NOMBRE moyen de tours par 1'.	POIDS au frein.	TRAVAIL moyen en kilogrammètres par 1".	EAU dépensée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU	
							à l'entrée.	à la sortie.
11h30'	16k.00	0	0' 0	7k00				
12.0		1235	41.2	7.00	36.21			
12.38		2390	35.2	7.00	30.91			
1.3		3285	35.3	7.00	31.07			
1.38		4625	36.1	7.00	31.78		16°	32°
2.3		5785	37.8	7.00	33.25		16	32
2.33		6800	37.2	7.00	32.68	1700	16	36
3.5		8190	38.1	7.00	33.77		16	33
3.33		9425	38.8	7.00	33.44	2150	16	39
4.3	2k.30	10815	39.6	7.00	34.24	2450	16	29
4.33		12135	40.0	7.00	35.31	2750	16	36
5.8		13525	40.0	7.00	35.20		16	28
5.33		14300	39.4	7.00	34.65	3100	16	33
5.49		14800	39.1	5.00	34.11	3200	16	
6.19	18k.30						33.1	16°

L'expérience a commencé avec une charge au frein de 7 kilogrammes; la durée totale du travail a été de $6^h.19'$ ou $6^h.32$, ce qui donne, pour la consommation, par heure et par cheval :

$$\frac{18.30 \times 75}{6.32 \times 34.11} = 6.36.$$

Mais en remarquant que, pendant la dernière période, la machine était déjà plus refroidie qu'au commencement de l'expérience, puisque la charge supportée a dû être réduite à 5 kilogrammes, il vaut mieux faire abstraction de ce travail supplémentaire et calculer ainsi qu'il suit : $\frac{18.30 \times 75}{6.05 \times 34.65} = 6.55.$

Pendant la durée de cet essai, on a tracé, avec un excellent indicateur de pression, un certain nombre de diagrammes sur le cylindre moteur.

Nous avons reproduit planche XVII (*fig.* 4) l'un de ces diagrammes en A; la ligne supérieure représente la variation de la pression pendant la période d'échauffement; la ligne inférieure correspond à la période de refroidissement.

La pression maxima est représentée, au-dessus de la ligne atmosphérique, par une ordonnée de 14.5 millimètres; en cal-

culant, d'après cette ordonnée, la valeur de la pression, on trouve P = 0.47 atmosphère.

A l'autre extrémité du diagramme, on voit que le tracé reste à 4.75 millimètres au-dessous de la ligne atmosphérique, ce qui correspond à une pression effective p = 0.85 atmosphère.

On voit par cette indication que l'inventeur a été conduit à faire un peu de vide dans sa machine pour rendre la circulation de l'air plus active et la faire marcher à une vitesse satisfaisante.

Nous nous rendrons compte ultérieurement du travail indiqué par ces diagrammes.

5e *expérience sar la machine Laubereau*, 11 *octobre* 1862.

L'allumage, commencé à $9^h.7'$, a employé, en $2^h.48'$, $17^k.50$ de houille de Mons, qui a été remplacée à partir de la mise en train *par* de la houille de Charleroi.

Le travail est mesuré avec le même frein que dans les deux dernières expériences.

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE total des tours.	NOMBRE moyen de tours par 1'.	POIDS au frein.	TRAVAIL moyen en kilogrammètres par 1".	EAU dépensée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU	
							à l'entrée.	à la sortie.
$12^h5'$	$16^k.00$	0	0' 0	9^k00			16°	
1.5		2190	36.5	9.00	41.28			
1.35		3210	35.3	9 00	40.33	400		
3.5		6485	36.0	9.00	40 80			
3.36		7625	36 1	9.00	40.87			
4.5		8730	36.4	9.00	41.14			34°
4.35		9745	36.0	9.00	40.79			34
4.40		9900	36.0	9.00	40.71	2400		
5.10		10890	35.7	7.00	39.56			31
5.40		11750	35.9	5.00	37.63	2800		
5.35	$16^k.00$							

Cette expérience a été faite avec de la houille; l'allumage a été très-difficile, mais aussitôt que le régime a été obtenu, le fonctionnement s'est maintenu avec la même régularité qu'en employant le coke; la consommation, pendant la période du travail, s'est élevée à 16 kilogrammes à répartir en $5^k.35$, ou $5^k.583$; et en la rapportant au cheval et à l'heure, on trouve

$$\frac{17 \times 75}{5.583 \times 37.63} = 6^k.00.$$

Si nous déduisons, comme précédemment, les deux dernières périodes, pendant lesquelles on n'a plus introduit de combustible, et qui représentent le travail obtenu en vertu de l'échauffement primitif, on arrive à un nombre un peu différent

$$\frac{16 \times 75}{4.583 \times 40.71} = 6^{k}.43.$$

On a encore obtenu dans cette expérience un assez grand nombre de diagrammes, dont la figure B, planche XVII, montre la disposition. La pression maxima est ici $P = 1.38$ atmosphère, la pression minima $p = 0.84$ atmosphère.

6e *expérience sur la machine de M. Laubereau,* 15 *octobre* 1862.

L'allumage, commencé à $8^{h}.40'$, a employé $9^{k}.86$ de coke en $1^{h}.40'$.

On s'est servi, à nouveau, du frein employé dans les expériences 1 et 2, avec levier de 2 mètres.

HEURES des observations	COKE mis en consommation.	NOMBRE total des tours.	NOMBRE moyen de tours par 1'.	POIDS au frein.	TRAVAIL moyen en kilogrammètres par 1".	EAU consommée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU à l'entrée.	TEMPÉRATURE DE L'EAU à la sortie.
10h28'	18k.14	0	0' 0	8k00			17°	
11.0		925	28.9	8.00	48.42			30°5
11.20		1463	28.1	8.00	47.08			
11.30		arrêt.		8.00				
12.0		2600	31.7	8.00	53.11	650		31.0
12.40		4070	33.4	8.00	55.89	1050		32.5
1.0		4800	33.8	8.00	56.63	1250		32.5
1 30		5900	33.9	8.00	56.79	1550		33.0
2.0		7025	34.7	8.00	58.14			
2.30		8100	34.9	8.00	58.48	2350		30.0
3 0	3k.40	9200	35.1	8.00	58.81	2600		34.5
3.30		10300	35.3	8.00	59.10	2850		32.5
4.0		11400	35.4	8.00	59.31	3200		31.5
4.30		12440	35.3	8.00	59 21	3500		32.5
5.0		13425	35.1	7.00	58.30	3700		
5.12		13775	34.9	6.00	57.64	3850		33.0
5.29		14285	34.8	5.00	56.60	3970	17	
7.1	21k.54							

Cette expérience, beaucoup plus favorable que les précédentes, a été précédée d'une nouvelle visite de la machine : le

papillon placé sur le conduit d'amenée de l'air chaud au cylindre moteur a été enlevé, et l'on a reconnu que ce conduit s'était en partie obstrué par les dépôts charbonneux provenant de la décomposition de l'huile de graissage.

La durée totale de l'expérience a été de $7^h.1'$, dont à déduire 10 minutes d'arrêt, ce qui réduit le temps de fonctionnement à $6^h.51'$ ou $6^h.85$. La consommation par heure et par cheval est alors $\frac{21.54 \times 75}{6.85 \times 56.60} = 4^k.17$.

Si nous cessons de mesurer le travail à partir de $4^h.30'$, nous arrivons au chiffre suivant : $\frac{21.54 \times 75}{5.87 \times 59.21} = 4^k.65$.

Cette expérience devant être la dernière de celles que nous nous proposions de faire sur la machine Laubereau, nous avons dû chercher à multiplier nos moyens d'appréciation; aussi avons-nous relevé un grand nombre de diagrammes.

Parmi les vingt courbes obtenues, nous en reproduisons deux seulement, *fig.* C et D, planche XVII, qui représentent l'ensemble de tous les résultats.

Dans la première on a $P = 1.45$; $p = 0.86$.
Dans la seconde $P = 1.46$; $p = 0.84$.

La pression se trouve ainsi, à son maximum, presque double de ce qu'elle est à son minimum, et cette circonstance explique pourquoi la machine, pour fonctionner avec une parfaite régularité, exige une très-haute température dans le foyer; la cloche doit être maintenue au moins au rouge sombre.

Il nous a paru nécessaire d'indiquer dans les tableaux qui précèdent tous les chiffres de nos déterminations : les expériences sont encore si peu nombreuses, pour ce genre de machines, qu'ils seront sans doute étudiés avec intérêt. Nous chercherons maintenant à les considérer dans leur ensemble, en les groupant les uns à côté des autres.

Tableau des résultats obtenus dans les diverses expériences faites sur la machine de M. Laubereau.

NUMÉROS des expériences.	VITESSE moyenne par 1'.	TRAVAIL moyen par 1''.	TRAVAIL moyen en chevaux.	CONSOMMATION par heure et par cheval.	NATURE des combustibles.	COMBUSTIBLE brûlé par l'allumage.	EAU dépensée par heure.	EAU dépensée par heure et par cheval.	AUGMENTATION de température de cette eau.	CALORIES emportées par heure et par cheval.
1	41^{t}5	60^{k}84	0^{ch}81	4^{k}38	coke.	11^{k}37	540^{k}	811^{k}	17^{c}	13787
2	37.8	54.23	0.72	4.07	coke.	9.40	531	738	17	12546
3	40.1	45.35	0.60	5.98	coke.	10.46	558	930	16	14880
4	39.4	34.65	0.46	6.55	coke.	9 70	505	1100	17	18700
5	36.0	40.71	0.54	6.43	houille.	17.50	502	929	17	15795
6	35.5	59.21	0.79	4.65	coke.	9.85	579	720	15	10800

A l'inspection de ces chiffres on voit que la consommation par heure et par cheval est bien supérieure à celle que l'on indique généralement pour les machines de ce genre.

Les résultats des expériences n°s 1, 2 et 6 sont sous ce rapport les meilleures, et l'on voit que ce sont précisément celles dans lesquelles le travail moteur a été le plus élevé. Le nombre de tours par minute n'est pas, dans ces expériences, notablement différent de celui des trois autres, la quantité d'eau employée pour le refroidissement est sensiblement la même, de sorte qu'il est impossible d'attribuer à une autre circonstance qu'à un meilleur chauffage le résultat relativement favorable que l'on a obtenu dans ces circonstances.

Le diamètre du cylindre moteur est 0^{m}.50, la course du piston 0^{m}.40, et il semblerait qu'avec le volume développé dans un pareil cylindre le travail devrait être beaucoup plus grand. Annoncée pour 2 chevaux, la machine n'a fait en réalité que 0.65 cheval, en moyenne, et en nous arrêtant à l'expérience n° 6, qui est la plus prolongée et la plus complète, 0.80 cheval environ.

L'eau employée à maintenir, à une température convenable,

l'extrémité opposée au foyer a dépassé, dans chaque expérience, 500 litres par heure, représentant pour chaque force de cheval une dépense de 700 à 1100 litres pendant le même temps.

Cette énorme dépense pourra sans doute être diminuée dans la pratique, mais le travail fourni sera diminué en même temps, puisque la puissance motrice réside exclusivement dans la différence entre la pression de l'air chaud et celle de l'air froid. Si la consommation d'eau ne pouvait être amoindrie dans une notable proportion, il y aurait lieu de douter que les machines à déplacement d'air pussent être plus économiques que les machines plus simples d'Ericcson, dans lesquelles l'air est rejeté à chaque coup de piston.

Pour nous rendre compte des raisons qui obligent à donner à *toutes* les machines à air des dimensions considérables, il est *nécessaire* d'étudier, avec plus de détails, les diagrammes qui ont été obtenus par les tracés à l'indicateur. Nous nous bornerons à l'examen de ceux qui sont reproduits sur la planche.

Pour apprécier leur signification d'une manière plus complète, nous en calculerons les principaux éléments.

L'indicateur employé dans ces expériences était un instrument très-délicat, construit sur nos indications par M. Clair; le piston et sa tige sont en aluminium, allégés autant que possible, et c'est sans doute à cette circonstance qu'il convient d'attribuer la complète régularité du trait; les tracés originaux sont aussi nets que la reproduction gravée.

La section du piston de l'indicateur était $0^{mq}.001$; le ressort employé avait une course de 1 millimètre pour une charge de 0.0333 kilogramme.

Il en résulte que la course correspondant à 1 atmosphère est de 1 millimètre $\times \frac{1.0330}{0.0333} = 31.02$ millimètres.

Cette tare est celle qui nous a servi à l'estimation des différentes pressions, soit au-dessus, soit au-dessous de la ligne atmosphérique.

Pour évaluer le travail indiqué par les diagrammes, il faut calculer l'effort exercé sur le piston moteur, dont le diamètre est $0^m.50$, et dont par conséquent la surface est $\pi \times 0.25^2 = 0.19635$ mètre carré.

L'effort exercé sur le piston est donc 1963,5 fois plus grand

que celui exercé sur le piston de l'indicateur, et chaque millimètre d'ordonnée correspondra à un effort de 1963.5 × 0.0333 = 65.45 kilogrammes.

En multipliant ce coefficient par l'ordonnée moyenne du diagramme et par la course 0m.40 du piston, on aura, dans chaque cas, l'évaluation du travail moteur en kilogrammètres.

Pour le diagramme C, par exemple, l'ordonnée moyenne étant de 8.70 millimètres, on aura $T = 65.45 \times 8.70 \times 0.40 = 227.76$ kilogrammètres.

Il est nécessaire de faire observer que le fond du cylindre moteur n'étant pas abordable, l'indicateur a dû être placé sur le conduit d'amenée, et qu'ainsi les pressions, au lieu d'être exactement celles qui s'exercent sur le piston, peuvent en différer, dans un sens ou dans l'autre, d'une quantité notable, absolument comme si, dans une machine à vapeur ordinaire, on plaçait la prise de vapeur sur le conduit de distribution, en aval du tiroir.

Le travail du piston moteur ne se renouvelle qu'une fois par tour, le cylindre dans lequel il fonctionne étant à simple effet; il y a donc lieu de comparer directement ce travail à celui qui est donné par le frein. Dans le cas de la courbe C, le frein fournit, par suite d'une charge de 8 kilogrammes, à 2 mètres de distance, un travail de 100,48 kilogrammètres; c'est à ce chiffre qu'il faut comparer celui de 227.76, et cette comparaison nous conduit à un effet utile de $\frac{100.48}{227.76} = 0.48$.

Dans une machine ainsi construite, il faut subvenir aux résistances de frottement, qui peuvent être notablement augmentées par l'élévation de la température, et la nécessité d'employer, pour lubréfier quelques parties, de la plombagine au lieu d'huile; et la petitesse du coefficient de rendement peut en outre s'expliquer par le travail certainement dépensé pour vaincre les résistances opposées, dans les deux sens, au mouvement du piston du cylindre distributeur.

Ce chiffre de 0.48 peut donc être considéré comme normal, tandis qu'il devrait être absolument rejeté s'il s'agissait d'une machine à vapeur.

Nous avons réuni dans le tableau suivant toutes les données relatives à l'interprétation des diagrammes.

Tableau des relevés des diagrammes dans les expériences sur la machine Laubereau.

INDICATION des courbes.	DATES des observations.	HEURES des observations.	PRESSION maxima.	PRESSION minima.	ORDONNÉE moyenne.	PRESSION utilisée moyenne.	TRAVAIL développé sur le piston.	CHARGE du frein.	BRAS ET LEVIER du frein.	TRAVAIL effectif par tour.	EFFET UTILE.
	octobre.										
A	8	1.40	1at47	0at85	5m74	0at18	149k 97	7k	1m20	52k 78	0.35
B	11	4.35	1.38	0.84	6.50	0.21	169.96	9	1.20	67.86	0.40
C	15	11.45	1.45	0.86	8.70	0.28	227.76	8	2.00	100.48	0.48
D	15	1.30	1.46	0.84	8.38	0.26	219.24	8	2.00	100.48	0.46

Il ressort des chiffres de la septième colonne que la pression moyenne utilisée s'élève rarement au-dessus de un quart d'atmosphère, encore bien que les différences de température soient quelquefois considérables.

La moyenne des pressions minima est 0.85 atmosphère; la moyenne des pressions maxima est 1.46; le rapport entre ces moyennes est de 1.46 : 0.85 = 1.72. Or, ce rapport dépend de la différence entre les températures moyennes d'une même masse de gaz, à la fin et au commencement de la course. En désignant l'une d'elles par t et l'autre par T, on devra avoir $1 + a\,T = 1.72\,(1 + at)$, d'où, en mettant pour le coefficient de dilatation a, sa valeur $a = 0.00367$

$$0.00367\,T = 0.72 \times 0{,}00367\,t,$$

d'où l'on tire

$$T - t = \frac{0.72}{0.00367} = 200^{\circ}.$$

Sans doute cette température moyenne est dépassée de beaucoup en quelques points, et si nous remarquons que t est toujours plus grand que la température de l'eau employée au refroidissement à sa sortie, c'est-à-dire à 35°, on a au minimum

$$T = 235^{\circ}.$$

Or, à chaque coup de piston la température moyenne de l'air

tombe ainsi de 235° à 35°, et toute la chaleur correspondante est emportée par l'eau elle-même ou par les autres causes de refroidissement.

Cette perte correspond à la chaleur emportée par la vapeur, après son action dans les machines ordinaires, et elle explique pourquoi les machines à simple déplacement d'air ne sauraient être plus économiques que les autres.

En résumé, les expériences faites sur la machine à déplacement d'air de M. Laubereau établissent :

1° Que cette machine fonctionne d'une manière régulière à une vitesse de 30 à 40 tours par minute;

2° Qu'elle peut fournir, avec ses dimensions actuelles, 0.80 de cheval-vapeur ; le diamètre du cylindre moteur étant $D = 0^m.50$, la course de son piston $C = 0^m.40$;

3° Que la pression motrice utilisée sur le piston ne s'élève pas en moyenne au delà de 0.25 atmosphère, et qu'ainsi les dimensions de cette machine sont très-grandes par rapport au travail produit ;

4° Que la consommation de combustible doit être estimée à 4,55 kilogrammes par force de cheval et par heure ;

5° Que le refroidissement des gaz exige l'emploi de 700 kilogrammes d'eau, également par cheval et par heure ;

6° Que cette eau, n'étant employée qu'à des températures relativement très-basses, les explosions sont absolument impossibles, et que sous ce rapport la sécurité est complète;

7° Que l'entretien du feu peut se faire à de longs intervalles, et sans exiger, par conséquent, l'emploi spécial d'un chauffeur ;

8° Que la seule partie de la machine dont la détérioration soit à craindre consiste dans la cloche, qui est exposée à l'action directe du foyer, et dont le remplacement peut d'ailleurs se faire avec la plus grande facilité.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 1er juillet 1863.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

La machine de M. Laubereau a, comme celle d'Ericcson, de nombreux partisans en Allemagne; elle est surtout appropriée aux industries qui s'exploitent dans de petits ateliers, pour lesquels une puissance effective d'un demi-cheval ou de trois quarts de cheval est suffisante.

Dans ces mêmes limites, les machines à vapeur consommeraient presque autant que cette machine à air, et celle-ci peut être installée et entretenue beaucoup plus facilement et à moins de frais.

Dans un récent voyage en Suisse, nous avons rencontré quelques-unes de ces machines, particulièrement dans l'atelier de construction de M. Ruiesner, à Genève. Cet appareil diffère du précédent en ce qu'il comporte deux cylindres accouplés, en relation avec un cylindre moteur à double effet. Les dispositions sont d'ailleurs les mêmes, si ce n'est que le volant a pu être *réduit* dans ses dimensions. Les expériences de consommation faites dans cet atelier confirment, si nous sommes bien informé, le chiffre de 5 kilogrammes auquel nous sommes arrivé.

Ces applications déjà faites nous engagent à donner une description un peu complète de la machine expérimentée au Conservatoire.

Dans la machine de M. Laubereau, comme dans toutes les autres machines à déplacement, on peut concevoir que le fonctionnement ait lieu indéfiniment avec le même air. Ici cet air passe successivement planche XVII de la capacité B à la capacité B', qui forment les deux chambres d'un même cylindre distributeur; lorsqu'il occupe la chambre B', entourée d'une circulation d'eau froide, cet air est relativement froid; il est plus chaud au contraire lorsque, le piston étant ramené en sens inverse, ce même air occupe la chambre B, dont les parois participent de la chaleur du foyer.

Pendant cette dernière période, la pression de l'air, se trouvant notablement augmentée, vient agir au-dessous du piston *a*, dont le relèvement se produit en même temps que l'agrandissement de la chambre B, et il se développe dès lors contre ce piston un certain travail moteur, qui a pour éléments simultanés, d'une part la différence variable entre la pression intérieure et la pression atmosphérique extérieure, d'autre part les chemins parcourus sous l'influence de cette différence de pression.

Le cylindre moteur A est ainsi une capacité intermédiaire sur

le couvercle de laquelle un certain travail moteur est développé par l'échauffement de l'air, et quand le piston *a* opérera sa course descendante, il pourra également se produire sous l'influence de la pression atmosphérique un nouveau travail moteur, si la pression de l'air, à ce moment refroidi, s'est abaissée au-dessous de celle de l'atmosphère.

On voit par ces indications que le fonctionnement de la machine repose essentiellement sur cette condition que l'air acquerra une température notablement différente, suivant qu'il occupera plus spécialement la chambre B ou la chambre B′ du distributeur. Pour faciliter autant que possible cet effet, le piston *b* est prolongé par une sorte de tube dont les parois glissent avec lui dans un fourreau *b′b″* qui se prolonge en conservant la forme cylindrique, d'une part tout autour du foyer, d'autre part tout autour d'une double circulation d'eau froide L L′.

Cette eau froide, qui arrive par le tuyau K, circule d'abord à l'extérieur de la rainure *b″*, dans le canal annulaire L, parcourt ensuite le canal annulaire L′, qui n'est séparé du précédent que par l'épaisseur même de la rainure. Cette eau s'échappe ensuite par un orifice spécial K′.

Cette double circulation est établie dans des conditions à peu près identiques du côté du feu, en ce que l'air brûlé dans le foyer C peut s'introduire, avant d'atteindre la cheminée E, dans la capacité annulaire *c*.

L'air destiné à faire fonctionner la machine est ainsi placé dans les meilleures conditions pour être modifié dans sa température, obligé qu'il est, dans chacun de ses déplacements, de circuler contre les deux faces de la rainure cylindrique *b″* ou de la rainure cylindrique *b*, maintenues respectivement à des températures très-différentes, pour l'une, par la circulation continue d'eau froide, alimentée par l'orifice K; pour l'autre, par le foyer et par les gaz brûlés en C et *c*.

Lorsqu'on veut interrompre le fonctionnement de la machine, il suffit d'appuyer sur la pédale M, *fig.* 1; cette manœuvre, en faisant ouvrir la soupape *m*, met la rainure *b″* et par conséquent le cylindre distributeur en communication libre avec l'atmosphère; le jeu des pressions intérieures cesse de se produire et la machine s'arrête aussitôt.

Nous avons supposé jusqu'ici que le même air restait confiné

dans les cylindres pendant toute la durée du fonctionnement de la machine; mais on comprend que, pendant les moments où la pression est élevée, il puisse se produire, soit par les interstices des joints, soit par la garniture du piston moteur *a*, soit enfin par la soupape *m*, de petites pertes qu'il est nécessaire de réparer en marche courante. C'est là l'objet du reniflard *n*, sorte de soupape, s'ouvrant du dehors au dedans et permettant à l'air extérieur d'entrer dans l'appareil lorsque la pression intérieure est abaissée au-dessous d'une certaine limite.

Quant au galet *r*, il sert à supporter le poids du piston et de ses appendices, et à les maintenir, pendant leurs évolutions, dans la position convenable pour que ces appendices ou fourreaux puissent se mouvoir dans le fourreau *b' b''* sans en toucher les parois. Ce galet est d'ailleurs renfermé dans une boîte en fonte *sans aucune* communication avec l'extérieur.

La légende suivante complétera d'une manière suffisante la description de la machine.

La figure 1, planche XVII, est une coupe verticale faite par l'axe du cylindre distributeur et du foyer : elle représente la plupart des organes essentiels de la machine.

La figure 2 est un plan général qui montre spécialement la position du cylindre moteur et les transmissions de mouvement.

La figure 3 est une coupe transversale, suivant une ligne brisée, indiquée au plan par un trait pointillé et choisie de manière à faire connaître, tout à la fois, les détails du cylindre moteur et ceux du foyer.

La figure 4 reproduit les divers diagrammes obtenus à l'aide d'un indicateur établi sur le cylindre moteur.

A, cylindre moteur, avec son piston *a*, transmettant le mouvement de rotation à l'arbre coudé G, par l'intermédiaire de la bielle *g* et de la manivelle *g'*.

B B', cylindre distributeur, avec son piston *b*, renfermant des substances peu conductrices de la chaleur, et se prolongeant, par les appendices cylindriques renfermés dans les rainures *b'* et *b''*.

Le mouvement est transmis à ce piston *b* par l'intermédiaire de la bielle supérieure H, du balancier I et de la bielle inférieure *h*, articulée avec la tige du piston. Des vis convenablement disposées permettent de régler, avec précision, la course à donner à chacun de ces organes.

r, galet mobile seulement autour de son axe et servant à supporter les appendices du piston pendant leurs mouvements.

C, foyer sur la grille duquel on peut brûler du coke ou du charbon de bois.

c, carneau dans lequel les gaz de la combustion circulent autour des rainures cylindriques *b'* avant d'atteindre la cheminée.

b' b'', fourreau cylindrique dans les deux parties duquel les gaz doivent nécessairement circuler pour passer de la chambre B dans la chambre B' ou inversement.

F, tuyau établissant une communication constante entre la rainure *b'*, et par conséquent le cylindre distributeur B B' et le cylindre moteur A.

E, cheminée dans laquelle le tirage peut être réglé au moyen d'un papillon *e*.

J J', portes à l'aide desquelles on fait les chargements de combustible et l'on règle l'introduction de l'air dans le foyer.

G, arbre moteur, coudé en son milieu, recevant son mouvement de la manivelle *g'* et faisant fonctionner la bielle H par l'intermédiaire de laquelle s'effectue le jeu du piston *b*.

V, volant servant à régulariser le mouvement.

K, tubulure par laquelle l'eau froide est introduite dans la chemise qui entoure l'extrémité B' du cylindre distributeur.

K', orifice de sortie de l'eau chaude provenant de cette circulation.

M, pédale à l'aide de laquelle le conducteur de la machine peut abaisser à volonté la soupape *m*.

m, soupape à l'aide de laquelle on établit la libre communication des cylindres avec l'air extérieur pour arrêter le fonctionnement de la machine.

n, reniflard permettant à l'air extérieur d'entrer dans la chambre B' et de réparer ainsi les pertes provenant des garnitures.

Il eût été très-désirable de pouvoir faire, au point de vue des quantités de chaleur dépensées, des observations analogues à celles que nous avons publiées sur la machine Lenoir et sur la machine Ericcson ; mais la machine de M. Laubereau se prêtait moins bien à de pareilles déterminations, par cela même qu'elle ne renouvelle que partiellement l'air qui sert à son fonctionnement.

Nous pourrons toutefois présenter quelques aperçus sur la

répartition de la chaleur entre les différentes causes de déperdition.

En comptant sur une consommation de 5 kilogrammes de coke, la dépense totale de chaleur peut être évaluée par heure à $5 \times 7500 = 37500$ calories par cheval, ou pour 0.80 cheval à 30000 calories.

La combustion du coke se fait lentement et l'on ne peut estimer à moins de 25 kilogrammes le poids de l'air employé pour la combustion de chaque kilogramme.

Ce serait donc une dépense par heure de $5 \times 25 = 125$ kilogrammes d'air, qui s'écoulent par la cheminée, après avoir été élevés à une température de 200° au minimum (les tracés nous ont indiqué 235), et nous avons observé directement 102° au haut de la cheminée.

La perte de chaleur provenant des conditions mêmes de la combustion serait donc d'environ

$$125 \times 0.23 \times 200 = 5750 \text{ calories.}$$

L'air employé dans la machine serait, à chaque coup de piston, porté de la température de 35° à celle de 235°, si cet air revenait exactement à la température de l'eau de circulation. Il faut donc compter au moins sur une augmentation de température de 200°.

Le volume du cylindre moteur est d'environ 80 litres, mais ce volume ne représente que la moitié environ du volume total de l'air emprisonné dans la machine. Le poids de cet air s'élèverait donc à 160×1.3 ou 200 grammes environ. Pour avoir le nombre des calories emportées par l'air moteur, il faut donc compter sur une différence de température de 200 degrés et sur un poids d'air de 200 grammes, renouvelé 40 fois par minute, ce qui permet d'évaluer cette perte à

$$200° \times 0.23 \times 0.200 \times 40 \times 60 = 22000 \text{ calories.}$$

La chaleur emportée par l'eau de circulation nous donne une autre approximation de la même perte : en comptant sur 500 litres et sur une augmentation de 20°, on arrive à un chiffre de 10000 calories, très-différent de celui qui précède, et comme lui, sans doute, très-inférieur à la vérité.

Ainsi, sur les 30000 calories qui sont réellement dépensées dans

cette machine, nous en retrouvons environ 6000 dans les produits de la combustion et 22000 au moins dans les alternances de réchauffage et de refroidissement de l'air, soit au total 28000.

Si nous ajoutons à ces premières pertes celles qui résultent de l'échauffement de l'air renouvelé par le reniflard, et surtout celles qui résultent de la radiation de toutes les parties de la machine, nous voyons que, dans les machines à déplacement d'air comme dans toutes les autres machines où la puissance motrice dérive de la chaleur produite par la combustion, la plus grande partie de la chaleur se retrouve dans les produits abandonnés par la machine, et qu'ainsi la chaleur réellement utilisée à développer le travail ne représente qu'une très-faible partie de la chaleur dépensée dans le foyer.

Si nos évaluations étaient exactes, cette utilisation n'aurait lieu que pour $\frac{2}{30} = 0.067$ de la chaleur totale développée par le combustible, et puisque la consommation par force de cheval est très-grande, il fallait que les pertes fussent aussi grandes, au moins, que pour les petites machines à vapeur, qui consomment, comme on le sait, beaucoup plus que les grandes, pour le même travail.

M. Laubereau a fait fonctionner devant nous plusieurs petits modèles de machines à air, fondées sur le même principe. Malgré la grossièreté de leur exécution, ces petites machines, que l'on chauffait, soit avec du charbon de bois, soit avec un bec de gaz, et qui pouvaient développer de 2 à 10 kilogrammètres par seconde, fonctionnaient d'une manière satisfaisante.

Nous pensons que l'emploi de ces petits moteurs est destiné, surtout dans des dimensions aussi restreintes, à recevoir de nombreuses applications ; elles pourraient, par exemple, conduire les machines à coudre, si répandues aujourd'hui, et devenir, dans un grand nombre de cas, d'un secours très-commode. Nous regrettons vivement de n'avoir pu faire aucune expérience sérieuse sur ces petits moteurs vraiment curieux.

H. T.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR LA

RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT DE PIERRES FACTICES

PROVENANT DE LA FUSION DES LAITIERS.

Les laitiers forment dans le voisinage des hauts fourneaux des amas considérables, et l'on a maintes fois cherché à en tirer un parti utile, plus encore pour se débarrasser plus facilement de matériaux encombrants, que pour en faire l'objet d'une exploitation lucrative.

Sous leur forme vitreuse ordinaire, ils ont été employés fréquemment à l'entretien des chaussées et à la confection des murs de clôture; mais leur rapide décomposition n'a jamais permis d'en obtenir, dans l'une ou l'autre de ces applications, un résultat quelque peu durable.

Des tentatives poursuivies en ce moment permettront sans doute d'en extraire la plus grande partie du fer qu'ils contiennent; mais on n'en aura pas moins à accumuler de grandes masses de scories vitreuses, pour lesquelles il serait vivement à désirer que l'on pût trouver un emploi.

Il y a quelques années, en Angleterre, on a déjà essayé d'obtenir avec ces matières, par le moulage à l'état pâteux, suivi d'un refroidissement gradué, des matériaux de construction : ce procédé offrait l'avantage de pouvoir donner à la face principale de ces matériaux des reliefs dont la reproduction ne laissait pas que d'être satisfaisante.

En France, M. Adcock a pris également un brevet, sous la date du 22 mars 1856, tant pour le moulage par fusion des basaltes artificiels que des scories, et pour l'emploi de ces produits moulés à la décoration.

Les produits qui nous ont été remis par M. Montefiore, pour être essayés sous le rapport de leur résistance à l'écrasement, sont de véritables pierres artificielles pour la fabrication desquelles on a ménagé le refroidissement des laitiers fondus, dans les conditions convenables. On obtient ainsi des masses, sans formes déterminées, dans lesquelles on extrait les blocs que l'on veut utiliser, et que l'on soumet à la *taille* comme les autres matériaux de construction.

Les pierres artificielles qui nous ont été remises proviennent de deux usines très-différentes.

Celles d'Aulnoye, près Maubeuge (Nord) sont obtenues avec des laitiers de fonte blanche. Elles sont uniformément d'une teinte grise : quelques échantillons sont, comme les basaltes fondus, parsemés dans toute leur masse de petites cavités sphériques d'un demi ou d'un quart de millimètre de diamètre; ils ont complétement l'apparence des basaltes employés dans les environs de Clermont.

La pierre artificielle de Novéant (Moselle) est obtenue avec des laitiers de fonte grise; elle est beaucoup plus compacte et ne présente que très-rarement les cavités dont la présence est générale dans celle d'Aulnoye. On remarque, dans toutes les cassures, de petites lamelles plus transparentes et semi-vitreuses, de couleur verdâtre, qui sont distribuées dans toute la masse avec une grande régularité. Cependant l'aspect général est grisâtre, bien qu'on retrouve sur les faces taillées les mêmes lamelles verdâtres que dans la masse.

M. Carlet a bien voulu faire, au laboratoire de M. Péligot, l'analyse de ces divers produits ; leur composition est la suivante :

Laitier d'Aulnoye (près Maubeuge), 2e envoi.

Silice	40,5
Alumine	23,1
Protoxyde de fer	1,4
Chaux	26,9
Magnésie	4,7
Soufre	0,7
Perte, eau hygrométrique et peut-être acide carbonique.	2,7
	100,0

Laitier de Novéant (Moselle).

Silice	35,6
Alumine	21,4
Protoxyde de fer	0,6
Chaux	38,8
Magnésie	traces.
Soufre	1,3
Perte	2,3
	100,0

Cette composition, qui se rapproche beaucoup de celle de certains basaltes, nous avait été indiquée comme assurant à ces matières une grande inaltérabilité. En fait, les échantillons d'Aulnoye ne paraissent avoir subi, depuis plusieurs mois, aucune altération, mais ceux de Novéant exhalent déjà une odeur sulfureuse très-marquée, et toutes les faces exposées à l'air, depuis la rupture des échantillons, ont pris une couleur plus brune et plus foncée, qui annonce certainement, sinon une décomposition partielle, du moins une modification notable au contact de l'air.

Ces matériaux sont très-durs, très-difficiles à tailler, et tout annonçait qu'ils nous fourniraient des coefficients d'écrasement tout à fait exceptionnels. Bien régulièrement taillés en cubes de 10 centimètres de côté, ils ont été successivement placés entre deux feuilles de plomb et soumis à l'action d'une presse hydraulique à quatre cylindres.

La pression a été observée à l'aide d'un manomètre à pistons différentiels, système Galy-Cazalat, préalablement taré.

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux suivants.

Les deux premiers contiennent les résultats des expériences auxquelles ont été soumises les pierres artificielles d'Aulnoye, qui ont fait l'objet de deux envois différents.

Le premier envoi consistait en laitiers ayant une apparence plus compacte que ceux du deuxième envoi, lesquels présentaient, en plus grand nombre, les petits alvéoles dont nous avons parlé.

Pierre artificielle d'Aulnoye (près Maubeuge). 1er envoi.

Hauteur de mercure au-dessus du 0 de l'échelle du grand manomètre.		Pressions correspondantes par centimètre carré, produisant :	
Fissures.	Rupture.	les premières fissures.	l'écrasement complet.
0m,26	0m,40	347k,98	482k,64
0 ,15	0 ,43	242 ,17	511 ,49
0 ,27	0 ,45	357 ,59	530 ,75
		Moyenne. 315k,91	Moyenne. 508k,29

Pierre artificielle d'Aulnoye (près Maubeuge). 2e envoi.

Hauteur de mercure au-dessus du 0 de l'échelle du grand manomètre.		Pressions correspondantes par centimètre carré, produisant :	
Fissures.	Rupture.	les premières fissures.	l'écrasement complet.
0m,265	0m,355	353k,48	439k,35
0 ,365	0 ,435	448 ,97	516 ,30
0 ,180	0 ,300	277 ,91	386 ,45
		Moyenne. 360k,12	Moyenne. 447k,37

Pierre artificielle de Novéant (Moselle). *Fonte grise.*

Hauteur de mercure au-dessus du 0 de l'échelle du grand manomètre.		Pressions correspondantes par centimètre carré, produisant :	
Fissures.	Rupture.	les premières fissures.	l'écrasement complet.
0m,29	0m,61	376k,83	684k,63 [1]
0 ,26	0 ,50	347 ,98	578 ,83
0 ,13	0 ,32	222 ,93	405 ,69
		Moyenne. 315k,91	Moyenne. 000 ,00

1. Cet échantillon ne s'est pas écrasé sous cette pression, mais il a été impossible d'obtenir une pression plus énergique.

On voit, d'après les chiffres des tableaux, que :

1° *La pierre artificielle d'Aulnoye* ne s'est fissurée dans les premiers essais que sous une pression moyenne de 315k.91, et que l'écrasement complet a eu lieu sous une charge moyenne de 508k.29 par centimètre carré;

2° *Dans les autres essais* faits sur cette pierre d'Aulnoye, les fissures ne se sont jamais produites sous une pression inférieure à 277k.12 par centimètre carré; la pression moyenne des premières fissures est de 360k.12, et l'écrasement complet s'est produit sous une pression moyenne de 447k.37 par centimètre carré.

En ce qui concerne la pierre artificielle de Novéant, les premières fissures se sont produites sous une pression moyenne de 315k.91, et la pression produisant l'écrasement complet a été, *pour* l'un des échantillons, supérieure à 684k.63 par centimètre carré.

Il résulte de ces expériences que, réserve faite des causes de destruction sous l'influence des actions atmosphériques, les pierres artificielles d'Aulnoye et de Novéant constituent, dans leur état actuel, des matériaux de construction de premier choix, celle de Novéant surtout, qui a résisté sans écrasement, à un effort de plus de 600 kilogrammes par centimètre carré.

La densité très-grande de ces pierres pourra être cependant un obstacle à leur emploi pour certaines applications.

La pierre d'Aulnoye	(1er envoi)	pèse 2992 kil.	par mètre cube.
— —	(2e envoi)	pèse 2768 kil.	—
La pierre de Novéant		pèse 2929 kil.	—

La question de la transformation des laitiers en matériaux utilisables est certainement un des problèmes les plus intéressants, parmi ceux qui se rattachent aux arts métallurgiques. En variant convenablement les conditions du refroidissement, au besoin même en modifiant la composition normale par quelque addition étrangère, on arrivera sans doute à le résoudre, et les essais déjà faits indiquent très-nettement la voie à suivre.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 10 juillet 1863.

Vu : Général Morin. H. Tresca.

EXPÉRIENCES FAITES SUR LA RÉSISTANCE DE DIVERS MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION.

Depuis plusieurs années déjà, la salle des machines du Conservatoire a été dotée du matériel nécessaire aux essais d'écrasement des matériaux de construction; les architectes de la ville de Paris, la Chambre centrale des architectes, les propriétaires de carrières et les principaux constructeurs y apportent souvent les matériaux qu'ils veulent employer, pour en connaître la résistance. L'essai est toujours fait sur plusieurs échantillons, et l'un d'eux reste déposé dans les galeries du Conservatoire, où il peut être consulté par tous les intéressés.

Sans reproduire ici les procès-verbaux de ces essais, il ne sera pas inutile de donner la liste complète des déterminations faites pendant le premier semestre de 1863.

Le même service sera prochainement organisé pour les briques des diverses provenances.

Résultats des divers essais d'écrasement de pierres, faits au Conservatoire des arts et métiers, pendant le premier semestre 1863.

DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS.	NOMS DES PERSONNES qui ont demandé LES ESSAIS.	Charges moyennes par centimètre carré produisant les premières fissures.	Charges moyennes par centimètre carré produisant l'écrasement.	POIDS du mètre cube.
Calcaire de Meursault (C.-d'Or). Banc de 1.20	MM. Baltard	105k,64	258k.48	2568k,6
Id. Banc de 0.40	Id.	168 ,65	408 ,93	
Calcaire de Méreville (Seine-et-Oise)	Delaplane	180 ,60	259 ,70	2366 ,0
Calcaire de Magny-en-Vexin (Seine-et-Oise).	Achenbach-Wall			
Id. Banc N° 1	Id.	56 ,03	99 ,94	1900 ,8
Id. Banc N° 2	Id.	43 ,23	53 ,80	1677 ,4
Calcaire de Comblanchin (Côte-d'Or)	Bazin	243 ,00	411 ,00	2438 ,0
Calcaire de Pouillenay (Côte-d'Or)	Ouachée	319 ,00	395 ,50	2660 ,0
Calcaire de Crouy (Seine-et-Marne). Banc royal.	Vauvillé	45 ,58	91 ,49	1730 ,0
Calcaire de Raviéri (Yonne)	Gilbert	250 ,00	250 ,00	2190 ,0
Calcaire d'Amstrude (Yonne)	Id.	234 ,00	298 ,00	2308 ,0
Calcaire de Marly-la-Ville (Seine-et-Oise)	Baltard			
Id. Lit tendre	Id.	57 ,97	66 ,18	1679 ,0
Id. Lit du milieu	Id.	57 ,11	75 ,37	1751 ,0
Id. Lit dur	Id.	87 ,35	137 ,16	1926 ,0
Id. Banc royal	Id.	59 ,72	63 ,20	1677 ,0
Id. Roche douce	Id.	155 ,42	275 ,84	2154 ,0
Calcaire de Longeville (Meuse)	Coquenelle Guillaume et Cie.			
Id. 1er banc	Id.	81 ,46	122 ,31	2155 ,0
Id. 2e banc	Id.	134 ,08	188 ,36	2318 ,0
Calcaire compacte de Molessart (Jura)	MM. Sobolewski	376 ,83	511 ,99	2738 ,0
Calcaire de Chauvigny (Vienne)	Rembaux			
Roche douce (commune de Brune)	Id.	106 ,92	213 ,31	2170 ,0
Id. (commune de Bretigny)	Id.	189 ,27	271 ,03	2230 ,0
Banc royal (commune de Lavoux)	Id.	157 ,00	177 ,25	2044 ,0
Marbre de Pomme-sous. (Marne)	Id.	145 ,98	232 ,55	2258 ,0
Calcaire de Chamson	Vernaud	271 ,00	333 ,55	2324 ,0
Calcaire d'Arcey	Id.	222 ,93	321 ,52	2182 ,0
Calcaire de Saint-Gervais (Seine-Inférieure).	Lisch et Fréret			
Id. (suivant le lit)	Id.	35 ,79	38 ,41	1446 ,0
Id. (en délit)	Id.	31 ,01	32 ,81	

RECHERCHES

SUR L'EXHALATION CARBONIQUE

DES ANIMAUX DOMESTIQUES

PAR M. ALLIBERT.

Au point de vue de l'application, des notions certaines sur la quantité de carbone exhalé par les espèces animales domestiques ont une importance que j'ai fait ressortir dans un opuscule récemment publié[1]. Elles fournissent une donnée précieuse, quoique indirecte, pour calculer la richesse des régimes en aliments respiratoires, et ainsi, facilitent considérablement les substitutions des aliments les uns aux autres.

De telles recherches ne manquaient point dans la science; mais elles sont disséminées dans un grand nombre de livres et de recueils, si bien que la réunion en serait longue et difficile; impossible même aurait été d'en colliger des séries un peu complètes. D'ailleurs, celles qui existent sont loin d'être toujours comparables à cause de la diversité des méthodes employées et de la dissemblance des conditions où étaient placés les sujets qui en ont fait l'objet.

Connaissant les inconvénients du défaut de comparabilité dans des recherches de cette nature et l'influence que peuvent avoir les conditions de l'expérience sur le phénomène à observer, j'ai appliqué la plus grande partie de mes soins à n'opérer que sur des sujets placés dans des conditions aussi peu différentes que possible de l'état naturel.

On sait que les appareils employés pour le dosage de l'acide

1. *Art de formuler des rations équivalentes*, chez Eug. Lacroix.

carbonique exhalé par les animaux se compose à peu près toujours de deux parties :

1° De récipients destinés à circonscrire, contenir ou recueillir et mesurer l'air vicié par le sujet;

2° D'un appareil analyseur destiné à faire connaître la quantité d'acide carbonique renfermé dans cet air.

Ce dernier appareil, perfectionné successivement par M. Boussingault et par M. Regnault, se compose d'une série de tubes en U chargés de réactifs appropriés à la dessiccation de l'air et à l'absorption de l'acide carbonique. J'ai adopté une disposition (*fig.* I, A) à peu près conforme à celle décrite et figurée par M. Regnault (*Ann. de ph. et de ch.*, t. XXVI). J'ai dû y introduire un petit manomètre *m*, placé entre les deux derniers tubes, et dont la fonction était d'indiquer la pression dans les aspirateurs *f*, *f*. Le mode de lutage en fut aussi changé; l'ancien mode fut remplacé par des calottes tubulées en caoutchouc vulcanisé, moyen qui me parut à l'abri de l'hygrométricité, des pertes de substance, et qui diminuait énormément les chances de fracture. Enfin les trois tubes *k*, *p*, *s*, qu'on détache pour les pesées, étaient pourvus de petits bouchons attachés et destinés à en clore les orifices pendant tout le temps que les tubes restaient séparés de l'appareil. Les pesées de ces tubes étaient faites au moyen d'une grande balance dite de M. Dumas, et en leur donnant pour contre-poids des tubes semblables et chargés à peu près de la même manière.

La durée des expériences était mesurée par un compteur Bréguet.

Dans toutes, le dosage a été effectué pendant l'expérience sur le sujet.

Appareils de contention et manière d'opérer.

Toutes les opérations ont été faites avec des appareils qui déterminaient, soit par aspiration, soit par impulsion, un courant d'air sans cesse renouvelé autour des sujets. On jugeait que ce renouvellement était suffisant à l'absence du dépôt de vapeur sur les parties vitrées des récipients.

Les *très-petites espèces*, telles que souris, loirs, taupes, petits oiseaux, étaient placées dans une éprouvette tubulée, posée ho-

rizontalement, ou sous une cloche en verre. Le courant d'air était déterminé par l'action des flacons aspirateurs *f*, *f*.

Les espèces et sujets de la taille des poules, des oies, des dindes, ont été soumis aux expériences dans un récipient tubulé en zinc ayant la forme de deux troncs de cône soudés base à base; il était pourvu d'une ouverture ovale, sorte de *trou d'homme* se fermant par un cadre vitré. Dans ce récipient le renouvellement de l'air était opéré par un grand gazomètre aspirateur en zinc et par le concours des aspirateurs *f*, *f* de l'appareil analyseur, pendant le dosage.

Les grands porcs, les moutons et les veaux ont été renfermés dans une boîte en zinc, longue de 1^{m},50, haute de 0^{m},80, et dont la section perpendiculaire à la longueur avait la forme ogivale. Cette boîte se fermait à ses deux extrémités par des portes encadrées dans un limbe en fer s'appliquant contre de pareils limbes sondés au corps de la boîte. Une telle disposition fut adoptée pour faciliter l'introduction d'animaux indociles, qu'on prenait par ce moyen entre deux portes au moment où ils croyaient traverser la boîte pour fuir. Chaque porte était en outre percée d'une tubulure pour le passage de l'air, et d'une fenêtre grillée pouvant fermer hermétiquement par un obturateur vitré. Le renouvellement de l'air dans cette boîte fut d'abord produit par l'aspiration de deux gazomètres en zinc d'une capacité de 700 litres chacun. Ce moyen, qui laissait à désirer pour la rapidité du courant, fut remplacé par l'appareil d'impulsion décrit plus loin.

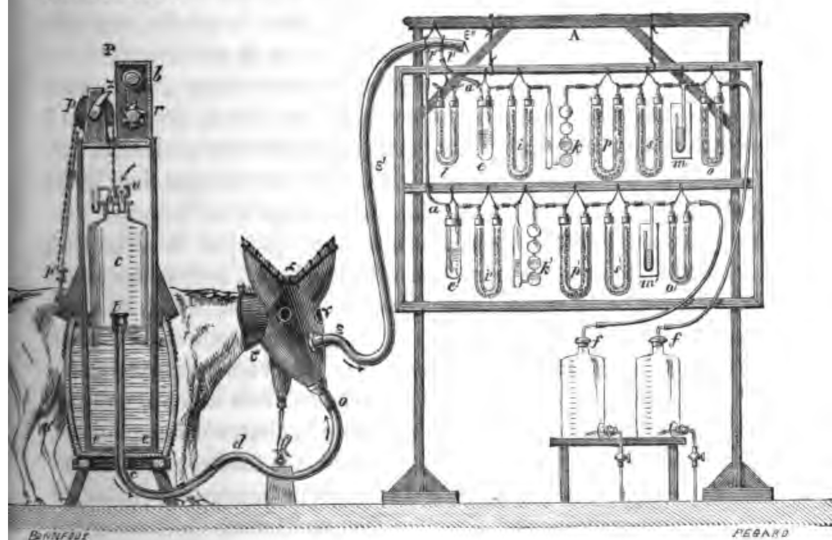
Toutes les fois que j'opérais avec les appareils qui viennent d'être signalés, l'expérience était partagée en deux temps. Pendant le premier temps, lorsque tout était disposé pour une expérience complète, l'appareil aspirateur fonctionnait seul et à blanc, c'est-à-dire sans le concours de l'appareil analyseur. La durée de ce temps était prolongée jusqu'à ce que l'animal fût calmé et surtout jusqu'à ce que l'on fût en droit de penser que, eu égard à la vitesse du renouvellement de l'air, la quantité d'acide carbonique n'augmentait plus dans le récipient autour du sujet. Ce moment venu, les voies de communication avec l'appareil analyseur étaient ouvertes, et le dosage commençait. Bien entendu que la durée des expériences se rapporte seulement à la durée du dosage.

Lorsqu'il s'est agi des très-petites espèces, tout l'air aspiré pendant le second temps était soumis à l'analyse.

Lorsque j'opérais sur les petites et moyennes espèces, une partie de cet air seulement passait par les appareils analyseurs. Dans ce cas, ces appareils avaient chacun une prise d'air sur le tube qui reliait l'aspirateur au récipient renfermant l'animal. Alors l'air analysé était, suivant les appareils employés, de 1/5 à 1/35 de l'air vicié par l'animal durant le temps du dosage.

Grandes espèces. Pour les grands animaux, tels que bœufs, vaches et chevaux, les appareils à récipient et aspirateur n'étaient plus possibles à cause des dimensions considérables qu'il aurait fallu donner à ces parties et de la quantité d'eau que leur fonctionnement aurait exigé. Forcé de me passer de ces grands moyens, je suis parvenu, après des essais multipliés, à trouver un appareil qui les remplace d'une manière satisfaisante, et qui a même sur eux divers avantages, entre autres la mobilité.

La figure ci-jointe représente cet appareil, monté et prêt à fonctionner.



Le sujet, qui est ici une vache, est coiffé d'une sorte de masque en tissu caoutchouké $\alpha \beta \gamma$; cette enveloppe est bordée, dans la

partie qui embrasse le cou, d'une lanière en caoutchouc fixée à la toile de manière à la faire froncer par son retrait, et ainsi former une bordure élastique pouvant serrer mollement le cou de l'animal. Mis en place, le masque était exactement fermé en en pinçant les bords avec des réglettes de bois, suivant trois lignes convergentes à la nuque du sujet. Les réglettes étaient solidement maintenues rapprochées par des serre-joints. Deux tubulures métalliques, *o* et γ, permettaient la circulation de l'air poussé par la machine P autour de la tête de l'animal. Une gaîne placée sous la gorge donne passage à la longe du licol.

La machine P fait office de gazomètre et de pompe, en poussant l'air dans l'enveloppe qui couvre la tête du sujet. Elle se compose essentiellement d'une cloche *c*, de la capacité d'environ 60 litres, portant à son sommet une large soupape *v*, laquelle s'ouvre de dehors en dedans. Cette cloche est suspendue entre les trois montants d'un bâti par la chaîne *pp'*, qui s'enroule autour d'une large poulie *z*. Le bâti est plongé par sa moitié inférieure dans un tonneau défoncé *eeee*. Le fond du tonneau est traversé à son centre par un tube *tcd*, dont la partie verticale est couronnée en *t* d'une boîte à soupape, et la partie extérieure et inférieure s'abouche dans un tube en caoutchouc *do*. Le tonneau est rempli d'eau jusque près de son bord, de manière à toujours baigner au moins la partie inférieure de la cloche.

Par suite de ces dispositions, il est facile de voir que si on laisse descendre doucement la cloche, la soupape *v* se fermant, l'air contenu dans la cloche n'a d'autre issue que par le tube *tcd*, dont il abaisse la soupape *t*. Quand la cloche est arrivée au terme de sa chute, on la remonte en agissant sur la poignée *p'*, l'air extérieur pressant sur la soupape *v*, s'engouffre à son intérieur en même temps que la soupape *t* se ferme. En réglant convenablement la course ascendante et descendante de la cloche, soit par le raccourcissement ou l'allongement de la chaîne de suspension, soit par la hauteur du niveau de l'eau dans le tonneau, on obtient facilement que chaque course de la cloche mesure et chasse un volume déterminé d'air. Pendant les expériences faites avec cet appareil, le volume d'air ainsi poussé était fixé à 50 litres. On avait en outre la précaution de ne remonter et de ne laisser descendre la cloche que du moment où le niveau était le même à

l'intérieur et à l'extérieur, ce qu'indiquait le petit manomètre fixé à son sommet.

Afin qu'en aucun cas l'air ne pût être notablement raréfié autour de la tête du sujet, le temps d'ascension de la cloche était réduit à une courte durée par l'ampleur de l'ouverture *v*, et par la rapidité de l'ascension comparée à la descente.

La machine P était complétée par un compteur destiné à marquer chaque descente de la cloche. Cette partie se composait de deux bobines, autour desquelles s'enroulait alternativement un cordon : la bobine inférieure portait une roue à rochets, à laquelle un levier articulé, fixé sur l'axe de la poulie, imprimait un sixième de tour pour chaque descente de la cloche. A la fin de chaque expérience on comptait le nombre de tours et de sixièmes de tours imprimés aux bobines, et l'on avait par là le nombre de litres d'air poussé par ce gazomètre.

Les sujets soumis à des expériences avec cet appareil, se trouvaient évidemment dans les conditions de la respiration normale; car en faisant jouer convenablement la machine foulante, l'air, constamment renouvelé autour de leur tête, enflait un peu le masque, indice d'une notable tension. Aussi sur une cinquantaine de sujets soumis à ces expériences, n'en ai-je rencontré qu'un seul qui se soit défendu avec opiniâtreté, circonstance que j'ai attribuée à la frayeur causée par des engins inconnus et non à la gêne de la respiration. Chez tous les autres, la respiration est restée parfaitement calme pendant toute la durée de l'expérience, qui était en moyenne de 20 minutes, La seule difficulté un peu sérieuse de l'emploi de ce moyen était d'appliquer le masque sans causer de la gêne au sujet et sans l'effrayer. J'en venais à mes fins en faisant jouer la pompe pendant l'adaptation du masque, maintenu en communication avec elle.

Durant les expériences, l'air chassé du masque par l'action combinée du gazomètre et de l'expiration s'échappait par l'extrémité ε'' du tube $\varepsilon'\varepsilon\varepsilon''$, en produisant un souffle continu saccadé, qui soulevait le clapet ε'' : ce dernier était une précaution contre le retour de l'air ou l'entrée de l'air extérieur, et à cause du voisinage des prises d'air *tt'* pour le dosage.

Les raisons qui m'ont fait considérer ce mode d'expérimentation comme offrant une garantie suffisante de précision, sont :

1° Que l'air destiné à la respiration du sujet était mesuré avant

d'avoir été en contact avec celui-ci, d'où il suit que sa température était la même que celle de l'air extérieur au moment de ce mesurage.

2° Qu'une fois arrivé autour de la tête du sujet, cet air pouvait s'échapper en partie entre le masque et la peau sans que cette perte rendît le dosage inexact, car la plus grande partie sortait toujours par le tube *ss''*.

3° Que les collisions subies par l'air respiré et l'air non respiré dans le masque et le tube de sortie permettent de penser que le mélange était sensiblement homogène, et que, par suite, l'air analysé par l'appareil d'absorption avait une composition identique à celui qui s'échappait du tube de sortie ou d'ailleurs.

4° Que le volume de l'air poussé dans le masque étant environ de 1100 litres, celui de l'air analysé de 20 litres, cette fraction n'est pas trop faible pour laisser soupçonner des erreurs graves.

5° Que les tubes absorbants ayant toujours été chargés de réactifs récemment préparés ou conservés en possession d'une énergie non douteuse, pouvaient toujours complétement dépouiller de leur humidité et de leur acide carbonique les 9 ou 10 litres d'air qui traversaient chaque système dans un temps moyen de 20 minutes.

Les notations nécessaires pour dégager les résultats étaient ici les mêmes que pour les autres modes, c'est-à-dire : température de l'air poussé; température et pression dans les aspirateurs *ff*; pression barométrique; durée; heure du jour, poids du sujet, son âge, plus le nombre de descentes de la cloche *c*.

Dans ce mode d'opérer la totalité de la surface des sujets, n'étant pas comprise dans le récipient qui confinait l'air respiré, il devenait nécessaire de s'assurer si l'exhalation carbonique de la peau est considérable. Pour combler cette lacune, j'ai dû faire quelques expériences. Sur un bœuf dont la surface était d'environ 7 mètres carrés, j'ai collé par les bords une pièce de toile imperméable de 50 décimètres carrés; le centre de cette toile portait une tubulure abouchée par un tube élastique à un appareil analyseur en marche. Cet appareil aspirait l'air interposé ou entraîné entre la toile et la peau. Ces expériences, répétées plusieurs fois, n'ont donné que de très-faibles quantités d'acide carbonique. La quantité de ce produit calculée pour 24 heures et pour la surface totale de l'animal, n'a été trouvée que de 3 gr. ou environ $\frac{1}{8000}$ de

la quantité exhalée par les poumons. Quant à la quantité de ce produit, qui peut s'échapper par l'anus, elle est sans doute aussi très-faible, et surtout trop irrégulièrement expulsée, pour être toujours recueillie par un mode qui ne permet guère que des expériences d'une heure de durée.

L'appareil en question se prête parfaitement à des expériences sur des sujets de l'espèce humaine. Pour le rendre applicable à cet objet, j'ai construit un masque fort simple dont l'ouverture, devant embrasser la gorge et la moitié du crâne, est bordée d'un bourrelet élastique; au-devant des yeux, ce masque est percé d'ouvertures où sont fixés des verres de lunettes; au-devant de la bouche et du nez sont deux autres ouvertures munies de tubulures en verre ou en métal. L'une de ces tubulures est destinée à communiquer avec la machine P; l'autre, pour la sortie de l'air, s'abouche avec le tube d'écoulement et de dosage *tt*.

Coiffé du masque, et pendant l'expérience, le sujet peut rester à l'état de repos ou se livrer à un travail pénible accompli sur place; il pourrait même dormir, tant est peu gênant le jeu de l'appareil. Les quelques essais que j'ai faits en ce genre ne me laissent aucun doute à cet égard.

J'avais aussi formé le projet d'appliquer l'appareil AP à des expériences pendant le travail des grands animaux, en les attelant à un manége ou en leur faisant traîner un fardeau; mais la privation d'un moyen facile d'èstimer le travail produit, et d'autres préoccupations, m'ont fait ajourner la mise à exécution de ces idées.

Enfin, un perfectionnement que je ferais subir à cet appareil, s'il devait être reconstruit, serait de remplacer la cloche unique par deux cloches de 30 à 40 litres agissant alternativement.

CHOIX DES SUJETS.

Ces recherches, ayant pour but principal de déterminer comparativement les quantités de carbone exhalé par les animaux de différentes tailles, âge et èspèces, je me suis appliqué à ne prendre pour sujets que des individus en parfaite santé, et surtout en condition moyenne, c'est-à-dire en cet état qui n'est ni la maigreur ni l'embonpoint. Dans la même espèce et la même race, j'ai choisi des sujets de différents âges et de différents poids.

Quelques-uns ont été plusieurs fois soumis à l'expérience à partir de la naissance, surtout dans les petites espèces.

TEMPÉRATURE.

J'ai opéré le plus souvent par une température voisine de 15° c. C'est en effet la température à laquelle les animaux sont le plus généralement exposés sous notre climat, celle de leurs habitations et celle qui paraît la plus favorable à l'exercice régulier de toutes leurs fonctions. Dans un milieu plus chaud, la consommation en carbone devient moindre; dans un milieu plus froid, cette consommation augmente pour fournir à la déperdition plus grande de chaleur animale. Ce dernier fait est rendu très-sensible par les résultats de mes expériences sur les souris (voy. tableaux). De là résulte que des expériences de la nature de celles dont il s'agit ne peuvent être un peu rigoureusement comparables dans leurs résultats qu'autant qu'elles ont été effectuées dans des conditions peu différentes. En outre, les déductions que l'on voudrait en tirer ne peuvent être acceptables, non plus, que si on a opéré dans la condition moyenne de l'année.

HEURE.

On sait, depuis quelque temps, que la quantité d'acide carbonique émise par les animaux durant les divers moments d'une journée varie avec l'état physiologique, l'état de sommeil, de veille, de repos, de digestion, d'exercice, d'excitation, etc.; que cette production est à son minimum vers le dernier temps d'un sommeil prolongé, et à son maximum pendant un exercice ou un travail véhément. Les divers états physiologiques par lesquels passe ordinairement un animal dans le courant d'une journée de 24 heures doivent être rangés dans l'ordre suivant, quant à l'influence qu'ils exercent sur la production de l'acide carbonique :

Le dernier temps d'un sommeil de plusieurs heures;

L'état de veille ou de repos après un repos déjà prolongé;

Le temps qui s'écoule entre la fin d'une digestion et le commencement d'une autre;

Les deux heures qui suivent un repas copieux et l'exercice modéré;

Le travail ou l'exercice fatigant.

Ces variations imposent donc à celui qui se propose de déterminer la moyenne journalière de cette production, l'obligation d'expérimenter au moment où le sujet produit la quantité moyenne du jour, ou bien l'obligation de procéder à deux essais, l'un après un repas ou un exercice modéré, l'autre pendant le sommeil. Le dernier moyen donnerait sans doute les *maxima* et les *minima* de la production journalière, et permettrait d'obtenir la moyenne; mais sa mise en pratique sur les grandes et moyennes espèces est sérieusement difficile; elle donnerait d'ailleurs des résultats qui n'auraient pas plus de valeur que ceux fournis par une seule expérience faite dans un moment convenable. On ne peut songer à expérimenter sur de grands animaux pendant le sommeil, parce qu'ils sortent trop facilement de cet état, et aussi parce qu'ils sont trop indociles pour rester longtemps coiffés des appareils nécessaires aux expériences. Il faudrait d'ailleurs transporter les appareils dans le local habité par les animaux : la mise en train d'une opération les réveillerait et produirait une notable excitation; l'air serait chargé des produits de la respiration antérieure, etc. Ces difficultés m'ont réduit à chercher d'abord quel était le moment de la journée où l'exhalation carbonique est la plus rapprochée de la moyenne du jour et de la nuit. Dans ce but, j'ai choisi deux sujets très-dociles que j'ai ensuite soumis à trois expériences, à différents moments du jour et de la nuit.

La génisse Armly, du poids de 520 kil., a produit, acide carbonique, par heure :

Le matin, de 8 à 9^h, 1^h après le repas.	367^g,06
Le soir, de 2 à 3^h, 6^h après de repas.	351^g,16
Vers minuit, 6^h après le repas. . . , ...	278^g.37
Moyenne des trois essais. . .	332^g,16

Maximum. . .	367	moyenne des extrêmes. . .	322^g,71
Minimum . . .	278		

Le bœuf Dunstan, du poids de 640 kil., a donné, par heure :

Le matin, à 8^h 30', 2^h après le repas.	305^g,72
Le matin, à 10^h 30', 4^h après le repas	249^g,40
Le soir, à 8^h 30', 1^h après le repas.	390^g,70
Moyenne des trois essais. . .	315^g,27

Maximum. .	390g,70	moyenne des extrêmes. . .	320g,05
Minimum. .	249g,40		

Pour distinguer entre ces deux moyennes la plus rapprochée de la vraie, il faut considérer que la journée n'est point partagée en trois termes égaux, durant chacun desquels se produit l'exhalation la plus forte, l'intermédiaire ou la plus faible. Je pense, au contraire, que pour des animaux tels que ceux que j'avais sous la main, et qui vivent habituellement en stabulation, les trois principales périodes de production carbonique différente doivent être à peu près réparties ainsi :

Minimum	9 h.	= 24 h.
Maximum	6 h.	
Intermédiaire. .	9 h.	

En supputant, d'après les données fournies par les trois essais précités, les quantités produites durant chacune de ces périodes, on trouve, pour la génisse :

Maximum . . .	6^h : 367,06 × 6 =	2^k,202,36
Minimum. . . .	9^h : 278,37 × 9 =	2^k,505,33
Intermédiaire. .	9^h : 251,16 × 9 =	3^k,160,44
	Total pour 24 heures. . .	7^k,868,13

D'où la moyenne pour 24^h = 328^{gr}.

Pour le bœuf Dunstan, on trouve :

Maximum.	390,70 × 6 =	2^k,344,20
Minimum	249,40 × 9 =	2^k,244,60
Intermédiaire. . . .	305,72 × 9 =	2^k,751,30
	Total pour 24 heures. . .	7^k,340,10

D'où la moyenne pour 1^h = 306^{gr}.

Il résulte de ces calculs que la moyenne la plus probable serait celle résultant des trois essais.

Malgré cela, je m'en suis tenu à une seule expérience pour la plupart des sujets, et le dosage avait lieu alors cinq ou six heures après le repas. Le principal inconvénient de cette manière de procéder est, je dois le dire, d'attribuer quelquefois jusqu'à 150 grammes de carbone de plus ou de moins qu'elle n'est en realité, à l'exhalation journalière calculée d'après cette seule donnée. C'est ce qui résulte de la comparaison de la moyenne

probable avec les quantités fournies 4 et 6 heures après le repas, par la génisse Armly et le bœuf Dunstan. Obtiendrait-on des résultats plus rapprochés de ce qui se passe à l'air libre avec des sujets confinés dans un récipient pendant 14, 24, 30, 48 heures? C'est douteux.

Les dosages sur les animaux des espèces de moyen poids ont été faits également cinq ou six heures après le repas des sujets.

Quant aux petites et très-petites espèces qui sont, comme les oiseaux surtout, en état permanent d'agitation et de digestion, elles ont été soumises très-souvent à deux expériences, l'une de jour et l'autre de nuit : la moyenne peut donc donner pour elles la véritable expression de leur perte en carbone. Je me suis quelquefois dispensé de cette précaution des deux dosages quand les sujets avaient dormi pendant une partie de la durée de l'opération.

Dans les tableaux qui suivent, la dernière colonne, celle consacrée à la quantité de carbone par kilog. vivant est surtout destinée à faire ressortir les différences que le fait physiologique présente dans les sujets étudiés. Afin que la comparaison fût réelle, je n'ai dû faire entrer dans le calcul du rapport en question que le poids de la *matière vivante* des sujets. Sans chercher une exactitude à peu près impossible à obtenir sur un tel point, je me suis borné à retrancher 1/6 du poids des bêtes bovines âgées de plus de six semaines, et 1/10 du poids des bêtes ovines et caprines de plus d'un mois, quantités qui représentent ordinairement les poids des substances contenues dans leur panse et leur intestin, même après un long jeûne.

A ces recherches, faites dans le courant des années 1855 et 1856, j'ai ajouté quelques résultats obtenus antérieurement et publiés en 1855 : ces derniers sont marqués dans les tableaux du signe *.

Numéros d'ordre.	ESPÈCES ou SUJETS.	AGE.	POIDS.	HEURE de l'expérience.	T. température.	DURÉE de l'expérience.	CO^2 pendant l'expérience.	CO^2 pour 24 heures.	CARBONE exhalé en 24 heures.	CARBONE par kil. de poids vivant.	OBSERVATIONS.
	Espèce Bovine.										
1	D. bœuf d'Herford........	7 ans...	797k	8h matin..	8°	20' 30"	120gr 515	8k,592	2k,343	3gr 53	
2	Vesta, vache............	id....	704	3h soir...	6	10	48 ,463	6 ,979	1 .903	3 ,24	
3	Annette, vache Schwitz, nde.	6 ans...	665	id....	17	2	8 ,107	5 ,837	1 ,592	2 ,90	
4	Bœuf, Herford...........	7 ans...	640	9h matin..	0	19 15	98 ,104	7 ,337	2 ,001	3 ,75	2h après le repas du mat.
5	Le même...............	id....	640	10h 30 mat.	10	21 30	89 ,37	6 ,056	1 ,642	3 ,08	4 heures après le repas.
6	Le même...............	id....	640	8h 30 soir.	8	12 15	79 ,77	9 ,360	2 ,553	4 ,78	1 heure après le repas.
7	Vache Birmy, Schwitz.....	id....	644	3h soir....	10	15	87 ,27	8 ,38	2 ,287	4 ,28	
8	Génisse Schwitz..........	30 mois.	583	2h soir....	8	21	115 ,153	7 ,896	2 ,153	4 ,41	
9	Vache , idem...........	42 mois.	560	3h soir....	8	25 30	120 ,30	6 ,593	1 ,798	3 ,85	
10	Bœuf Schwitz normand.....	id....	555	10h 30 mat.	5	18 30	92 ,40	7 ,181	1 ,958	4 ,24	Bête maigre.
11	Taureau, Schwitz.........	2 ans...	535	2h soir....	17	10	59 ,00	8 ,496	2 ,317	5 ,20	
12	Génisse, Armly, Schwitz....	27 mois.	515	id....	4	20	117 ,054	8 ,427	2 ,298	5 ,35	5 h. après le repas.
13	La même...............	28 mois.	522	minuit....	5	20	92 ,792	6 ,681	1 ,822	4 ,24	7 h. après le repas.
14	La même...............	id....	522	9h matin..	10	10	61 ,177	8 ,809	2 ,402	5 ,59	1 h. après le repas.
15	Vache, Zerly, Schwitz.....	4 ans...	519	id....	10	20	88 ,263	6 ,354	1 ,733	4 ,03	
16	Génisse, Schwitz normande.	31 mois.	517	id....	5	20	97 ,454	7 ,017	1 ,914	4 ,45	
17	Génisse, Schwitz.........	34 mois.	510	2h soir....	3	18	91 ,363	7 ,309	1 ,993	4 ,69	
18	Vache d'Ayr.	6 ans 1/2	425	id....	10	20	57 ,452	5 ,432	1 ,481	4 ,15	
19	Vache d'Ayr............	7 ans 1/2	424	id....	13	15	53 ,698	5 ,155	1 ,406	4 ,00	
20	Génisse, Schwitz.........	27 mois.	405	3h id....	9	21	74 ,832	5 ,131	1 ,399	4 ,11	
21	Génisse normande........	25 mois.	414	id....	17	20	67 ,780	4 ,480	1 ,222	3 ,54	
22	Génisse normande........	24 mois.	389	id....	5	16	73 ,343	6 ,600	1 ,800	5 ,55	
23	Taureau d'Ayr...........	18 mois.	372	id....	8	12	55 ,714	6 ,685	1 ,823	5 ,88	
24	Vache d'Ayr............	30 mois.	304	2h soir....	12	20	82 ,841	5 ,964	1 ,626	6 ,43	
25	Taureau breton..........	22 mois.	282	id....	15	15	52 ,747	5 ,064	1 ,381	5 ,88	
26	Génisse, Durham normande.	17 mois.	282	3h soir....	8	16	67 ,725	6 ,095	1 ,662	7 ,07	
27	Vache bretonne..........	5 ans...	278	id....	8	20	58 ,504	4 ,212	1 ,149	4 ,95	

28	La même	5 ans..	278k	2h soir.	7°	20°	66gr 582	4k,794	1k,307	5gr 63	
29	Vache bretonne	4 ans...	265	3h soir.	15	15	50 ,749	4 ,895	1 ,335	6 ,04	
30	Vache bretonne	id.	234	9h matin..	5	20	49 ,598	3 ,571	974	5 ,00	
31	La même	id.	240	3h soir.	13	20	40 ,493	2 ,915	795	4 ,10	
32	La même	id.	240	id.	17	20	48 ,817	3 ,515	958	4 ,92	
33	Taurillon d'Ayr	13 mois.	249	id.	7	15	44 ,574	4 ,279	1 ,167	5 ,61	
34	Velle d'Ayr	id.	189	6h soir.	7	15	41 ,391	3 ,973	1 ,084	6 ,86	
35	La même	id.	189	5h matin...	1	12	32 ,850	3 ,942	1 ,075	6 ,80	
36	Velle bretonne	6 mois..	87	10h matin..	7	15	22 ,655	2 ,175	593	8 ,00	
37	Velle de Durham	2 mois..	90	3h soir.	0	20	22 ,752	1 ,638	446	5 ,00	
38	Veau d'Ayr	id.	82	id.	5	22 15	30 ,897	2 ,022	551	6 ,73	
39	Velle bretonne	3 mois..	50	4h soir.	5	21	17 ,743	1 ,162	332	6 ,63	
40	Velle Schwitz	8 jours..	50	3h soir.	0	20	16 ,443	1 ,184	323	6 ,44	
41	Velle d'Ayr	10 jours.	46	10h matin..	13	20	18 ,964	1 ,365	372	8 ,10	

Espèce Ovine.

42	Bélier mérinos	5 ans...	87k	3h soir.	12°	24'	16gr 887	1k,010	0k,275	3gr 53	
43	Bélier Dishley	2 ans...	78	10h matin..	10	16	17 ,150	1 ,544	0 ,421	6 ,00	
44	Bélier de Southdown	18 mois..	67	3h soir.	12	18	9 ,342	747	0 ,204	3 ,40	
45	Le même	id...	67	4h soir.	10	17	11 ,320	958	0 ,261	4 ,70	
46	Brebis Dishley mérinos	4 ans...	52	2h soir.	8	23	19 ,793	1 ,209	0 ,330	7 ,00	Brebis stérile.
47	Brebis Dishley mérinos	id...	44	id.	10	21	22 ,880	1 ,569	0 ,428	10 ,70	Bête nourrice, inquiète durant l'expérience.
48	Agneau Dishley mérinos	10 mois..	43	4h soir.	16	17	12 ,110	1 ,026	0 ,280	7 ,24	
49	Brebis mérinos	4 ans...	41	10h matin..	8	20	18 ,400	1 ,325	0 ,361	9 ,75	8 jours après l'agnelage.
50	Agneau Dishley mérinos	10 mois..	38	7h matin...	10	20	10 ,501	756	0 ,206	6 ,00	
51	Agneau châtré	id...	38	9h matin...	11	24	11 ,173	672	0 ,183	5 ,40	
52	2 agneaux Southdown	4 mois..	55	3h soir.	10	30	35 ,255	1 ,692	0 ,461	9 ,16	Mâle et femelle.
53	4 agneaux id. mérinos	1 mois..	50	id.	8	21	18 ,000	1 ,306	0 ,356	7 ,10	Pesés ensemble.
54	1 agneau id.	6 jours..	6 ,20	2h soir.	10	»	»	7	0 ,070	11 ,35	*
55	1 agneau id.	13 jours.	6	id.	10	»	»	»	0 ,068	11 ,33	*
56	4 agneaux id.	6 jours..	22	10h matin..	7	23	12 ,342	0 ,773	0 ,211	9 ,59	Ensemble.
57	1 agneau	4 jours..	4 ,7	3h soir.	10	»	»	137	0 ,055	11 ,72	*

Numéros d'ordre.	ESPÈCES ou SUJETS.	AGE.	POIDS.	HEURE de l'expérience.	T. température.	DURÉE de l'expérience.	CO^2 pendant l'expérience.	CO^2 pour 24 heures.	CARBONE exhalé en 24 heures.	CARBONE par kil. de poids vivant.	OBSERVATIONS.
	Espèce Caprine.										
58	Bouc de Kasthmir........	3 ans...	40k	10h matin.	15°	20'	12gr 149	0k,875	0k,239	6gr 64	
59	Chevrette id...........	8 mois..	26	2h soir...	11	21	9 ,394	0 ,644	0 ,176	7 ,52	
60	Chevrette id...........	10 mois..	26	3h soir....	8	18	6 ,868	0 ,550	0 ,150	6 ,36	
61	Chevreau..............	7 jours..	3 ,100	11h matin.	8	50	3 ,255	0 ,065	0 ,018	6 ,00	
	Espèce Porcine.										
62	Verrat Hampshire........	2 ans...	146k	4h soir....	10°	13'	36gr 748	2k,070	0k,565	3gr 73	
63	Verrat Hampshire........	18 mois.	124	9h matin..	9	18	24 ,394	1 ,968	0 ,537	4 ,32	
64	Verrat Berkshire.........	2 ans...	83	3h soir....	9	16	13 ,543	1 ,219	0 ,332	4 ,00	
65	Truie New-Leicester......	10 mois.	78	9h matin..	9	23	26 ,066	1 ,632	0 ,445	5 ,70	
66	Truie New-Leicester......	id....	76	id....	10	21	15 ,514	1 ,064	0 ,290	4 ,00	
67	Truie Hampshire.........	11 mois.	51	3h soir....	10	23	12 ,956	0 ,810	0 ,221	4 ,27	
68	2 Porcelets Hampshire.....	24 jours.	7,85	id....	18	1h 10'	10 ,987	0 ,226	0 ,062	7 ,90	Pesés ensemble.
69	2 Porcelets id.........	12 id..	6,75	2h soir....	18	1h 2'	7 ,003	0 ,163	0 ,045	6 ,50	id.
70	2 Porcelets id.........	8 id..	6,50	id....	22	41'	6 ,160	0 ,216	0 ,059	9 ,00	id.
71	2 Porcelets............	2 id..	2,97	3h soir....	17	1h	7 ,977	0 ,191	0 ,052	17 ,00	id.
72	1 Porcelet.............	8 id..	1	id....	17	1h	3 ,384	0 ,081	0 ,022	22 ,00	Sujet scrofuleux.
	Espèce Canine.										
73	Épagneul...............	5 ans...	18k	4h soir....	10°	26'	4gr 161	0k,230,4	0k,063	3gr 50	
74	Chien de berger.........	3 mois..	11	2h soir....	13	80	»	»	0 ,071	6 ,45	*
75	Épagneul...............	3 mois..	6 ,79	id....	15	41	6 ,161	0 ,221	0 ,060	8 ,80	

76	2 jeunes épagneuls	45 jours.	7^k,45	4^h soir	18°	1^h	6^{gr} 947	0^k,167	0^k,045,5	6^{gr} 06	
77	2 jeunes id.	24 id.	2 ,10	3^h id.	16	1^h	»	»	0 ,028	11 ,00	*
78	Jeune id.	6 id.	0 ,670	id.	14	40'	0 ,626	0 ,22,5	0 ,006	9 ,27	
79	Autre jeune	60 heures.	0 ,460	2^h id.	14	1^h	0 ,859	0 ,20,6	0 ,005,6	12 ,00	
80	2 jeunes	36 heures.	0 ,585	id.	11	1^h	0 ,855	0 ,20,5	0 ,005,6	9 ,04	

Espèce Féline.

81	Chat d'Angora	2 ans	5^k,56	4^h soir	»	»	»	»	0^k,034	6^{gr} 11	*
82	Chat commun	id.	2 ,54	id.	»	»	»	»	0 ,017	6 ,60	*
83	Chat commun	4 mois	1 ,26	3^h id.	»	»	»	»	0 ,009	7 ,20	*
84	2 chats d'Angora	1 mois	1 ,22	5^h id.	15°	2^h	3^{gr} 029	0^k,036	0 ,010	8 ,20	

Espèce Cuniculine.

85	Lapine commune	16 mois.	4^k,69	9^h matin	12°	»	»	»	31^{gr}	7 ,34	*
86	Lapin commun	6 mois	3 ,05	11^h matin	14	2^h	5^{gr} 948	70^{gr} 00	19	7 ,00	
87	Lapin commun	8 mois	3 ,00	»	»	»	»	»	22 ,19	8 ,21	*
88	3 lapins communs	9 mois	6 ,94	»	»	»	»	»	63	10 ,10	*
89	1 lapin commun	8 mois	1 ,91	»	»	»	»	»	16 ,44	9 ,56	*
90	2 lapereaux	2 mois	1 ,49	5^h soir	10	1^h 20'	3 ,671	66 ,00	18	13 ,40	
91	2 lapereaux	1 mois	0 ,925	»	»	»	»	»	13 ,81	14 ,90	*
92	Hérisson jeune	»	0 ,128	»	»	»	»	»	3 ,86	30 ,00	*
93	Taupe	adulte	0 ,087	12^h matin	19	2^h	0 ,518	6 ,22	1 ,70	20 ,00	
94	Loir femelle	»	0 ,073	10^h matin	19	1^h	0 ,217	5 ,21	1 ,42	19 ,59	
95	Loir mâle	»	0 ,071	1^h soir	20	1^h	0 ,279	6 ,70	1 ,83	25 ,60	
96	Loir jeune	»	0 ,040	11^h matin	19	1^h	0 ,273	6 ,35	1 ,73	43 ,25	
97	Autre jeune	»	0 ,033	8^h matin	17	1^h	0 ,214	5 ,12	1 ,40	42 ,12	
98	Le même	»	0 ,032	6^h matin	15	1^h	0 ,208	4 ,99	1 ,36	42 ,50	

Numéros d'ordre.	ESPÈCES ou SUJETS.	AGE.	POIDS.	HEURE de l'expérience.	T. température.	DURÉE de l'expérience.	CO^2 pendant l'expérience.	CO^2 pour 24 heures.	CARBONE exhalé en 24 heures.	CARBONE par kil. de poids vivant.	OBSERVATIONS.
99	Souris commune..........	»	0k,008	9h à 12...	19°	3h	0gr 203	1gr 62	0gr 441	55gr 10	
100	La même...............	adulte...	0 ,008	3h soir....	20	1h	0 ,095	2 ,28	0 ,621	77 ,9	
101	Autre souris............	»	0 ,010	9h soir....	3	3h 37'	0 ,738	4 ,90	1 ,330	133 ,00	
102	2 souris................	»	0 ,014	9h matin..	2	3h	1 ,090	8 ,72	2 ,380	170 ,00	
103	2 autres souris..........	»	0 ,032	id....	1	4h	2 ,282	13 ,69	3 ,730	117 ,00	
104	3 autres souris..........	»	0 ,021	2h soir....	2	2h	0 ,833	9 ,99	2 ,770	132 ,00	
105	2 autres souris..........	»	0 ,013	8h soir....	2	2h	0 ,507	6 ,08	1 ,660	128 ,00	
106	2 sujets du n° 103........	»	0 ,032	3h soir....	5	2h	0 ,951	11 ,40	3 ,110	100 ,00	
107	Chauve-souris (oreillard)...	adulte...	0 ,029	10h matin.	19	1h	0 ,273	6 ,552	1 ,787	63 ,00	
108	2 chauves-souris id.......	»	0 ,016	7 à 13h...	10	4h 50'	0 ,275	1 ,466	0 ,399	25 ,00	
109	Les mêmes id.......	»	0 ,016	6 à 10h soir.	10	4h	0 ,411	2 ,466	0 ,673	42 ,00	Moment de l'activité.
110	Chauve-souris...........	»	0 ,010,5	10h matin.	16	2h	0 ,182	2 ,184	0 ,600	60 ,00	
111	La même..............	»	0 ,010,5	10h soir...	16	1h 45'	0 ,158	2 ,172	0 ,592	59 ,00	
112	Autre sujet............	»	0 ,008	6h matin..	15	2h	0 ,042	0 ,504	0 ,137	17 ,00	
113	La même..............	»	0 ,008	9h à 11h soir.	16	2h	0 ,164	1 ,960	0 ,535	67 ,00	Moment de l'activité.
114	Autre chauve-souris.......	»	0 ,007	8h à 13h..	16	5h	0 ,124	0 ,600	0 ,164	26 ,2	
115	La même..............	»	0 ,007	20h à 22..	16	2h 15'	0 ,1534	1 ,636	0 ,446	63 ,70	Moment de l'activité.
116	Chauve-souris...........	»	0 ,005	13h à 16..	18	3h	0 ,0315	0 ,252	0 ,070	14 ,00	
117	La même..............	»	0 ,005	19h à 22..	16	3h 30'	0 ,057	0 ,414	0 ,113	23 ,00	Moment de l'activité.

Gallinacés.

Numéros d'ordre.	ESPÈCES ou SUJETS.	AGE.	POIDS.	HEURE de l'expérience.	T. température.	DURÉE de l'expérience.	CO^2 pendant l'expérience.	CO^2 pour 24 heures.	CARBONE exhalé en 24 heures.	CARBONE par kil. de poids vivant.	OBSERVATIONS.
118	Dindon................	3 ans...	9k,00	9h matin..	10°	1h	6gr 504	157gr 5	43gr 00	4gr 80	
119	Autre.................	8 mois..	4 ,15	2h soir....	12	1h	»	»	36 ,00	8 ,67	
120	Dindonneau............	5 mois..	2 ,95	id....	4	40'	2 ,907	104 ,66	28 ,54	9 ,50	
121	Dindonneau............	98 jours.	2 ,12	id....	13	1h	3 ,203	76 ,87	20 ,96	9 ,88	
122	Même sujet............	»	2 ,12	6h matin..	10	1h	3 ,584	84 ,82	23 ,18	10 ,90	

123	Autre	5 mois..	1k,435	9h soir....	14°	1h 38'	5gr 780	85gr 6	23gr 35	16gr 27	
124	Le même sujet	»	»	5 à 6h matin.	16	1h 15'	2 ,948	57 ,0	15 ,50	10 ,81	
125	Dindonneau	2 mois..	1 ,364	»	»	»	»	»	15 ,00	11 ,00	*
126	Autre	2 mois..	1 ,294	»	»	»	»	»	22 ,00	17 ,00	*
127	2 dindonneaux	65 jours.	0 ,965	2h soir....	13	1h	3 ,180	76 ,32	20 ,81	21 ,56	
128	2 dindonneaux	30 jours.	0 ,530	9h matin..	22	1h	1 ,736	41 ,66	11 ,31	21 ,34	
129	Coq de Cochinchine	18 mois..	2 ,480	2h soir....	16	»	»	»	16 ,00	6 ,45	*
130	Le même	»	»	id....	14	»	»	»	19 ,00	7 ,65	*
131	Poule de Cochinchine	18 mois.	2 ,380	10h matin..	13	»	»	»	20 ,00	8 ,40	*
132	La même	»	»	»	»	»	»	»	26 ,00	10 ,90	*
133	Coq commun	1 an....	2 ,378	»	»	»	»	»	24 ,00	10 ,00	*
134	Poule de Cochinchine	id...	2 ,080	»	»	»	»	»	19 ,00	9 ,00	*
135	Poule de combat	id...	1 ,184	»	»	»	»	»	15 ,00	12 ,70	*
136	Poule et coq Bentham	id...	1 ,150	7 à 8h soir..	17	1h	2 ,053	49 ,27	13 ,44	11 ,70	
137	Les mêmes	»	»	5 à 6h matin.	15	1h	2 ,017	48 ,41	13 ,20	11 ,48	
138	Poulette commune	6 mois..	1 ,00	3h soir....	13	1h	2 ,619	62 ,86	17 ,14	17 ,14	
139	Poulette commune	4 mois..	0 ,795	»	12	»	»	»	17 ,00	21 ,50	*
140	2 poulets	id...	1 ,179	»	»	»	»	»	21 ,00	18 ,65	*
141	Poule de Bentham	1 an...	0 ,530	4h soir....	15	»	»	»	11 ,00	20 ,00	*
142	La même	»	0 ,530	0h matin..	11	»	»	»	8 ,00	15 ,00	*
143	2 poulets	128 jours.	0 ,860	4h soir....	13	1h	2 ,779	66 ,59	18 ,16	21 ,11	
144	2 poulettes	3 mois..	0 ,800	9h soir....	14	1h 45'	4 ,303	59 ,16	16 ,13	20 ,16	
145	Les mêmes	»	0 ,800	9h matin..	18	2h	5 ,442	63 ,30	17 ,30	21 ,62	
146	4 poussins	40 jours.	1 ,150	2h soir....	14	»	»	»	39 ,00	34 ,00	*
147	4 poussins	8 jours..	0 ,489	3h soir....	20	2h	8 ,419	101 ,08	27 ,47	56 ,00	

Palmipèdes.

148	Oie mâle	7 mois..	6k,260	»	»	»	»	»	47gr 00	7gr 51	*
149	Oie jeune	4 mois..	5 ,000	8 à 9h soir..	13°	1h	7gr 276	174gr 62	46 ,71	9 ,34	
150	La même	»	»	6 à 7h matin.	9	1h	3 ,730	89 ,54	24 ,42	4 ,90	

Numéros d'ordre.	ESPÈCES OU SUJETS.	AGE.	POIDS.	HEURE de l'expérience.	T température.	DURÉE de l'expérience.	CO^2 pendant l'expérience	CO^2 pour 24 heures.	CARBONE exhalé en 24 heures.	CARBONE par kil. de poids vivant.	OBSERVATIONS.
151	Oie femelle	7 mois..	4k,650	»	»	»	»	»	43gr 00	9gr 24	*
152	Autre sujet	1 an....	3 ,750	3 à 4h soir..	18°	1h	3gr 692	88gr 60	24 ,16	6 ,44	
153	Le même	1 an....	3 ,750	6 à 7h matin.	16	1h	2 ,480	59 ,52	16 ,23	4 ,33	
154	Oison	143 jours.	3 ,390	9h matin..	14	1h 5'	4 ,429	98 ,12	26 ,76	7 ,89	
155	Oison	75 jours.	2 ,600	2h soir....	20	1h	2 ,343	56 ,23	15 ,33	5 ,90	
156	Autre sujet	76 jours.	1 ,970	3h soir....	24	1h 30'	3 ,050	48 ,8	13 ,31	6 ,76	
157	2 oisons	22 jours.	1 ,065	3h soir....	17	1h	1 ,817	43 ,61	11 ,90	11 ,17	
158	Canard de Barbarie	1 an....	2 ,630	»	»	»	»	»	26 ,00	9 ,89	*
159	Autre sujet	»	2 ,500	»	»	»	»	»	25 ,00	10 ,00	*
160	Canard commun	1 an....	1 ,458	»	»	»	»	»	21 ,00	15 ,90	*
161	Caneton	4 mois..	1 ,250	»	»	»	»	»	24 ,00	19 ,20	*
162	Caneton croisé	4 mois..	1 ,180	4 à 5h soir..	16	45'	2 ,080	66 ,55	17 ,88	15 ,15	
163	Le même croisé	4 mois..	1 ,180	9 à 10h mat.	14	1h	2 ,28	54 ,72	14 ,92	12 ,64	
164	2 canetons communs	4 mois..	2 ,220	9 à 10h soir.	9	1h	6 ,67	160 ,00	43 ,60	20 ,54	
165	Les mêmes	»	2 ,220	7 à 8h mat..	10	1h	2 ,240	53 ,74	14 ,56	6 ,90	
	Sujets divers.										
166	Pigeon femelle	adulte..	0 ,460	2h soir....	»	»	»	»	11 ,40	25 ,00	
167	2 ramiers	83 jours.	oublié.	4h soir....	15	1h	2 ,448	58 ,75	16 ,02	»	
168	Les mêmes	15 jours.	0 ,490	5h soir....	24	1h	1 ,307	31 ,36	8 ,55	17 ,65	
169	2 geais	20 jours.	0 ,235	3h soir....	20	30'	0 ,397	19 ,05	5 ,20	22 ,12	

170	Moineau commun..........	12 jours.	0k,024	5h soir....	21°	1h	0gr 215	5gr 160	1gr 41	59gr 00	
171	Autre sujet..............	12 jours.	0 ,016	2h soir....	20	1h	0 ,163	3 ,91	1 ,07	66 ,87	
172	2 hirondelles (martinets)...	10 jours.	0 ,032	2h soir....	20	1h 30'	0 ,303	4 ,85	1 ,32	41 ,25	
173	2 id. de même couvée....	10 jours.	0 ,030	10h matin..	20	40'	0 ,120	3 ,32	0 ,905	30 ,16	
174	Rouge-gorge............	adulte..	0 ,013	8h matin..	11	1h	0 ,122	6 ,143	1 ,675	152 ,00	Sauvage; très-agité.
175	2 fringilles.............	adultes..	0 ,016	12h.......	12	2h	0 ,570	6 ,840	1 ,865	116 ,6	Expérience de jour.
176	Les mêmes..............	»	»	20 à 23h...	11	2h 20'	0 ,370	3 ,80	1 ,036	65 ,00	Expérience de nuit.

Appendice. — Sujets humains.

177	M. C..................	19 ans..	80k	6h matin..	9°	12'	7gr 952	954gr 24	»	»	A jeun; sortant du lit.
178	Le même..............	»	»	8h matin..	8	15'	15 ,620	»	»	»	Après un léger déjeuner.
179	Le même..............	»	»	7h matin..	10	10'	38 ,483	»	»	»	Pendant un travail très-pénible (1).
180	M. M***...............	36 ans..	56	8h matin..	11	10'	6 ,864	»	»	»	

(1) Ce travail consistait à lever à la hauteur d'un mètre, et à le descendre sans lâcher, un poids de 20 kil.; ce poids a été levé 105 fois en 10 minutes.

RECHERCHES SUR LE PLATRAGE

DES TERRES ARABLES,

PAR M. P. P. DEHÉRAIN.

Les cultivateurs connaissent depuis longtemps déjà les remarquables effets que produit le plâtre sur les prairies artificielles; on admet en général qu'il augmente d'un tiers et même qu'il double les récoltes de trèfle, de luzerne et de sainfoin; mais ce qui distingue cet engrais des autres matières employées pour activer la végétation, c'est que son effet si marqué sur les légumineuses est nul sur les céréales.

Ces propriétés singulières étaient de nature à éveiller l'attention des chimistes agronomes; aussi, pour expliquer les effets du plâtrage, ils ont proposé différentes hypothèses que nous avons cru devoir soumettre d'abord à quelques épreuves expérimentales.

La valeur de l'hypothèse de sir H. Davy, supposant que le plâtre est absorbé en nature par les plantes, a été fort réduite par les analyses de M. Boussingault; cet éminent chimiste a reconnu que dans les cendres d'un trèfle plâtré, l'acide sulfurique et la chaux étaient loin d'être dans les rapports où ils se trouvent combinés dans le gypse; tandis que la chaux formait une partie importante de ces cendres, l'acide sulfurique n'y entrait qu'en très-faible proportion; l'action du plâtre ne paraît donc pouvoir être assimilée à celle des nitrates, des sels ammoniacaux ou des phosphates, il ne semble pas servir directement de nourriture aux végétaux, ni être absorbé en nature[1].

1. Si le plâtre était absorbé en nature, il faudrait supposer que les plantes ont

Nous ne rappellerons que pour mémoire l'hypothèse de M. le baron de Liebig, qui supposait que le plâtre fixe le carbonate d'ammoniaque contenu dans les eaux pluviales. Dans son *Économie rurale*, M. Boussingault a critiqué cette manière de voir, nous n'avons pas à y revenir.

M. Kuhlmann a proposé une explication très-satisfaisante au premier abord; le plâtre, suivant lui, se décomposerait dans la terre arable sous l'influence des matières carbonées qui s'y rencontrent; ces matières ulmiques oxydées deviendraient plus assimilables par les plantes et plus facilement solubles; le sulfure de calcium produit pourrait, au reste, reprendre de l'oxygène à l'air atmosphérique et se métamorphoser de nouveau en plâtre pour être décomposé plus tard; il se ferait ainsi dans la terre arable une série d'oxydations et de décompositions successives analogues à celles qu'exercent dans les chambres de plomb les vapeurs nitreuses.

Lorsque j'ai commencé les recherches que je publie aujourd'hui, je pensais qu'elles devaient vérifier les idées de M. Kuhlmann; il est facile cependant de reconnaître, *à priori*, que cette théorie est incomplète, car elle n'expliquerait nullement pourquoi le plâtre agit sur les légumineuses et est sans effet sur les céréales. Toutefois, voulant soumettre cette hypothèse à une vérification expérimentale, je songeai que si le plâtre agissait dans la terre arable comme oxydant, il devait favoriser la nitrification comme le fait l'air atmosphérique dans la jachère.

Or, M. Boussingault a doté la science agricole de procédés d'une délicatesse admirable pour distinguer, dans l'azote total contenu dans la terre arable, celui qui y existe sous forme de nitrates et celui qu'on y rencontre à l'état d'ammoniaque; il indique de plus, dans son cours d'analyse, toutes les précautions qu'exige l'emploi de ces procédés délicats; je me trouvais donc parfaitement en mesure de voir si le plâtrage favorise la nitrification.

la propriété d'éliminer l'acide sulfurique, en conservant la chaux; je m'occupe en ce moment d'examiner cette hypothèse.

§ Ier. — *Le plâtre introduit dans la terre arable ne favorise pas la nitrification.*

Pour être certain qu'on opérait exactement, on commença par rechercher dans du sable une petite quantité de salpêtre qu'on y avait introduite.

Dans 200g de sable lavé, on ajoute 12mm,4 de nitrate de potasse, on retrouve 11mm,4.

Les expériences commencées dans le cours de l'année 1862, puis interrompues, furent reprises au mois de décembre.

Un échantillon d'une terre de Russie, n° 2[1], dans laquelle on n'avait trouvé que des traces de nitrate, fut plâtré le 3 décembre à 1/10; le plâtre employé était pur, il était préparé par la calcination du gypse en fer de lance; en même temps on mélangea un autre échantillon de cette même terre avec 1/10 de sable pur, de façon à favoriser l'action oxydante de l'air, et à pouvoir comparer, par cet artifice, l'action oxydante du plâtre à celle de l'oxygène atmosphérique. Les deux échantillons furent humectés de façon que les terres prissent l'empreinte des doigts sans cependant adhérer à la main; on ajouta de l'eau à mesure que les terres se desséchèrent.

On dosa l'acide nitrique le 4, le 8, le 11 et le 15 décembre. La quantité d'acide nitrique alla en croissant dans la terre sablée, elle resta presque nulle dans la terre plâtrée. Le 15 décembre les dosages rapportés à un kilogramme donnèrent :

Terre sablée. . Nitrates, équivalent à 0g,027 d'azotate de potasse.
Terre plâtrée. . Traces.

On craignit alors d'avoir trop humecté les terres, on les laissa se dessécher; on fit un nouveau dosage le 6 janvier 1863, l'acide nitrique n'avait augmenté ni d'un côté ni de l'autre.

Dans une autre expérience qui dura quatre mois, et qui portait encore sur la terre de Russie n° 2, riche en débris organiques, très-propre par conséquent à ces essais, on trouva dans un kilogramme :

1. L'analyse de cette terre est insérée dans le 2e volume de ce recueil, page 729; un nouveau dosage du charbon, des matières organiques, avait indiqué 26 gr. par kil.

Terre normale. . .	Nitrates, équivalent à salpêtre,		0g,194
Terre plâtrée. . . .	—	—	0g,102

Ainsi l'expérience se prononçait nettement; il n'y a pas d'acide nitrique formé sous l'influence du plâtrage.

§ II. — *Le plâtrage ne favorise pas la formation de l'ammoniaque.*

C'est encore l'élégant procédé de M. Boussingault pour la recherche de l'ammoniaque toute formée dans la terre arable qui nous a permis de résoudre une question qu'on devait se poser naturellement.

Le plâtre est en effet du sulfate de chaux; l'introduire dans le sol, c'est donc en définitive y mettre de la chaux; mais ce n'est peut-être pas cependant agir sur les matières azotées insolubles comme le fait la chaux elle-même. M. Boussingault ayant démontré [1] que le chaulage contribue surtout à favoriser la formation de l'ammoniaque aux dépens des matières azotées enfouies dans le sol, il convenait de chercher si le plâtrage produit un effet semblable.

Les recherches furent commencées par un essai préalable. Dans 200g de sable on introduisit une quantité de sel ammoniac renfermant 6mm,55 de gaz ammoniac, on retrouva 6mm,57.

L'ammoniaque fut dosée comparativement dans la terre de Russie no 2 sablée et plâtrée qui avait servi aux expériences précédentes.

Après un mois, on dosa dans un kilogramme de terre séchée à l'air en ammoniaque toute formée :

Terre sablée.	0g,0624
Terre plâtrée.	0g,0458

L'ammoniaque fut recherchée également dans la terre de Russie normale et dans la terre restée en contact avec le plâtre pendant quatre mois; on trouva, dans un kilogramme :

Terre de Russie normale.	0g,173
Terre plâtrée.	0g,130

1. Voyez *Annales du Conservatoire*, tome II, p. 217.

On voit donc que le plâtre est loin d'agir sur la terre arable comme la chaux; en effet, dans une des expériences qu'il a faites sur le chaulage, M. Boussingault a trouvé, en ammoniaque toute formée, dans un kilogramme :

Terre sablée.	0g,012
Terre chaulée.	0g,303

§ III. — *Le plâtrage favorise la solubilité de la potasse enfouie dans la terre arable.*

Ces recherches étant terminées, j'avoue que je fus quelque temps avant de savoir à quoi attribuer les bons effets du plâtrage sur les prairies artificielles; toutefois, en examinant la composition des cendres des légumineuses, je fus frappé de voir la quantité notable de potasse qui s'y trouvait; je fus frappé aussi de voir cette quantité de potasse augmenter avec le plâtrage.

M. Boussingault, en effet, a obtenu les nombres suivants :

MATIÈRES DOSÉES.	RÉCOLTE EXTRAORDINAIRE de 1841. CENDRES DE TRÈFLE		RÉCOLTE PEU FAVORABLE de 1842. CENDRES DE TRÈFLE	
	Non plâtré.	Plâtré.	Non plâtré.	Plâtré.
Acide carbonique	14.2	22.1	21.5	26.8
Chlore	3.4	2.9	2.5	2.2
Acide phosphorique	8.0	6.9	5.4	5.8
Acide sulfurique	3.2	2.6	2.4	2.3
Chaux	23.7	22.4	25.4	26.7
Magnésie	6.3	5.1	5.6	7.4
Oxyde de fer, de mangan., alumine.	1.0	0.6	0.5	traces.
Potasse	19.6	27.8	22.5	25.3
Soude	1.0	0.7	2.2	0.2
Silice	16.8	7.9	10.0	2.7
Perte et charbon	2.8	1.0	2.0	0.6
	100.0	100.0	100.0	100.0
Abstraction faite de l'acide carbonique et de la perte.				
Chlore	4.1	3.8	3.3	3.0
Acide phosphorique	9.7	9.0	7.1	8.2
Acide sulfurique	3.9	3.4	3.1	3.2
Chaux	28.5	29.4	33.2	36.7
Magnésie	7.6	6.7	7.3	10.2
Oxyde de fer, de mangan., alumine.	1.2	1.0	0.6	traces.
Potasse	23.6	35.4	29.4	34.7
Soude	1.2	0.9	2.9	0.3
Silice	20.2	10.4	13.1	3.7
	100.0	100.0	100.0	100.0

Aussi, malgré le peu de probabilité que le plâtre eût une action quelconque sur la solubilité de la potasse, je résolus de rechercher comparativement la potasse que l'eau pouvait enlever à une terre plâtrée et à une terre normale.

En général on agit sur 100^{g} de terre séchée à l'air qui fut lavée avec un demi-litre d'eau; l'eau était évaporée d'abord dans une capsule de porcelaine, puis traitée par du carbonate d'ammoniaque pour éliminer la chaux; la liqueur filtrée était alors

évaporée à sec dans une capsule de platine et calcinée pour chasser l'excès de sels ammoniacaux; on reprenait le résidu par de l'acide chlorhydrique bouillant; on ajoutait de l'alcool et du chlorure de platine.

On filtrait après vingt-quatre heures le chloroplatinate de potasse, on desséchait le filtre, et on pesait enfin le chloroplatinate obtenu.

Les recherches furent commencées par un essai préalable ayant pour but de s'assurer que le procédé décrit plus haut ne présentait pas de causes d'erreurs graves.

On mélangea à 10g de plâtre une quantité de salpêtre pur et sec renfermant 0g,116 de potasse; en suivant le procédé indiqué, on trouva 0g,107; ainsi on avait fait une erreur de 0g,009 qui, bien que notable, n'était pas de nature à compromettre le succès des recherches.

Un grand nombre de terres furent plâtrées au 1/10, et on dosa comparativement la potasse dans les terres normales et dans les terres plâtrées, on trouva ainsi les résultats suivants :

Potasse extraite par l'eau froide de 1 kilog. de terre séchée à l'air.

TERRES MISES EN EXPÉRIENCE.	POTASSE dans la terre normale.	POTASSE dans la terre plâtrée.	DIFFÉRENCE due au plâtrage.	DURÉE de l'expérience.
	gr.	gr.	gr.	
Terre noire de Russie, n° 2	0.048	0.136	+ 0.089	4 mois.
Id.	0.058	0.140	+ 0.092	15 jours.
Id.	»	0.288	+ 0.240	1 mois ½
Id.	»	0.428	+ 0.380	1 mois.
Id. n° 1..........	0.128	0.138	+ 0.010	1 mois.
Terre des Chapelles (Seine-et-M.)..	0.017	0.115	+ 0.098	1 mois.
Terre de Verclives (Eure) *......	0.487	0.556	+ 0.069	1 mois.
Terre du Rio-Parana...........	0.003	0.067	+ 0.064	1 mois.
Terre de Sologne..............	0.192	0.202	+ 0.010	1 mois.
Terre franche du Jardin des Plantes	0.046	0.355	+ 0.309	24 heures

* Terre très-riche, provenant d'une fosse d'asperges.

Ces premières expériences avaient été tentées sur des terres prises au hasard parmi celles que je pouvais me procurer; mais je pensai ensuite à les vérifier sur d'autres terres choisies spécia-

lement dans le but de voir si, comme les faits précédents semblaient le montrer, le plâtrage favorisait la solubilité de la potasse. Il devenait évident, en effet, que dans une terre que le cultivateur ne plâtre jamais, on devait trouver de la potasse soluble dans l'eau en quantités assez notables, tandis que dans celles que le cultivateur plâtre avec avantage, il ne devait y avoir de potasse soluble dans l'eau qu'après le plâtrage. La première de ces deux vérifications me fut suggérée par mon élève et ami M. Camille Arnould, qui m'a prêté, dans le cours de ce travail, le concours le plus actif et le plus habile.

Potasse extraite par l'eau froide de 1 kilog. de terre séchée à l'air.

TERRES MISES EN EXPÉRIENCE.	POTASSE dans la terre normale.	POTASSE dans la terre plâtrée.	DIFFÉRENCE due au plâtrage.	DURÉE de l'expérience.
Terre d'Éragny (Seine-et-Oise), jamais plâtrée	gr. 0.084			
Terre d'Alfort (Seine), jamais plâtrée	0.082			
Terre de la Guéritaude (Indre-et-Loire), plâtrée avec grd avantage.	traces.	gr. 0.105	gr. 0.105	12 heures
Autre terre de la Guéritaude, plâtrée avec grand avantage	traces.	0.192	0.192	12 heures

De ces faits, établis avec une grande netteté, découle une explication très-naturelle d'un grand nombre de pratiques agricoles relatives au plâtrage.

§ IV. — *Explications de quelques pratiques agricoles relatives au plâtrage.*

Si nous examinons d'abord quelles sont les plantes qu'on plâtre avec avantage, nous reconnaissons immédiatement que ce sont des plantes riches en potasse; les légumineuses d'abord, notamment le trèfle, le sainfoin et la luzerne; la vigne, qui enlève au sol une quantité de potasse notable, est aussi plâtrée dans quelques pays.

Une ancienne observation de Schwertz est très-favorable à notre manière de voir; cet agronome assure que le plâtre est impuissant à favoriser la végétation du trèfle sur certains sols rebelles à cette culture; mais il ajoute qu'on arrive souvent à triompher des résistances de la terre en l'amendant avec des cendres. Le plâtre, en effet, ne crée pas la potasse, il ne peut que la mobiliser, la rendre soluble, et si elle fait complétement défaut, son influence est nulle, tandis que les cendres, apportant la potasse elle-même, donnent à la terre l'élément qui lui manquait pour que des légumineuses puissent s'y développer.

Quelques-unes de nos expériences ont montré que la potasse devenait soluble presque immédiatement après le plâtrage. Cette remarque nous explique pourquoi les agriculteurs conseillent de plâtrer les plantes elles-mêmes plutôt que d'ajouter le plâtre sur une terre dépouillée de sa récolte. Dans les deux cas, suivant nous, le plâtre agit seulement sur la terre; mais s'il mobilise la potasse sans qu'une plante puisse s'en emparer, cette potasse peut être entraînée par l'eau de pluie et perdue; si, au contraire, la plante est déjà développée, la potasse peut être absorbée à mesure qu'elle se dissout sous l'influence du plâtre.

On a reconnu que le plâtre ne produit que peu d'effet sur les céréales; si nous examinons la composition des cendres de ces végétaux, nous y trouvons des quantités notables de phosphates, des quantités notables de silice, et nous savons enfin que les engrais azotés leur sont absolument nécessaires; or, nous avons vu que le plâtrage ne favorise ni la formation de l'ammoniaque, ni celle de l'acide azotique; nous avons constaté que les phosphates ne deviennent pas plus solubles dans les acides faibles sous l'influence du plâtrage; enfin les nombres suivants relatifs à la solubilité de la silice, montrent que décidément le plâtrage est loin d'agir sur elle avec la même énergie que le chaulage, et qu'ainsi aucun des aliments des céréales n'est rendu plus soluble sous l'influence du plâtre.

On a essayé d'étudier la solubilité probable de la silice dans le sol, en traitant comparativement les terres plâtrées et chaulées par l'acide acétique étendu.

Un kilogramme de terre de Russie n° 2 séchée à l'air a donné les résultats suivants :

	Après chaulage au 10°.	Après plâtrage au 10°.
Silice soluble dans a. acétique faible.	1g,460	0g,380

et dans un kilogramme de terre de Verclives, on a trouvé :

	Après chaulage au 10°.	Après plâtrage au 10°.
Silice soluble.	1g,407	0g,300

Ces expériences trouvent au reste une confirmation remarquable dans le tableau inséré plus haut et dû à M. Boussingault; on y remarquera que la silice est beaucoup moins abondante dans les cendres des récoltes plâtrées que dans les cendres provenant d'une récolte normale.

Si un grand nombre de faits tirés de la pratique agricole viennent confirmer la manière de voir que je propose, il en est d'autres cependant qui lui sont contraires; ainsi les betteraves, renfermant dans leurs cendres une quantité notable de potasse, devraient être plâtrées avec avantage; M. Boussingault cependant a tenté l'opération sans succès; peut-être n'en serait-il pas de même si on opérait sur des topinambours ou des navets; on améliorera peut-être aussi beaucoup la qualité du tabac par le plâtrage, puisque M. Schlœsing a montré que les tabacs agréables à fumer renfermaient des quantités notables de potasse.

Les turneps enfin renferment aussi dans leurs cendres beaucoup de potasse, et je ne serais pas étonné qu'une des raisons de la prodigalité avec laquelle les Anglais amendent ces récoltes de *superphosphates*, c'est-à-dire de phosphates traités par l'acide sulfurique, ne tînt à l'action dissolvante qu'exerce le sulfate de chaux sur la potasse enfouie dans la terre arable.

Le plâtre agit très-probablement aussi en fournissant aux sols pauvres en calcaires une certaine quantité de la chaux qui entre dans les plantes; car, ainsi que nous allons le voir plus loin, une partie de ce plâtre est décomposée et amenée à l'état de carbonate de chaux.

§ V. — *Examen des causes auxquelles on peut attribuer l'action du plâtre sur la potasse insoluble de la terre arable.*

Quand les expériences précédentes m'eurent montré combien le plâtre favorise la solubilité de la potasse, j'ai essayé de consta-

ter comment les dissolutions salines se comportent vis-à-vis des terres normales et des terres plâtrées.

Un fait me frappa surtout : tandis que la potasse du carbonate de potasse passe bien à travers une terre plâtrée, elle est retenue par une terre normale; le bicarbonate de potasse, au contraire, filtre presque aussi bien à travers une terre normale qu'à travers une terre plâtrée.

On mit en digestion des dissolutions semblables de carbonate de potasse avec une terre de Touraine normale et plâtrée; dans l'eau de lavage de la terre normale, il fut impossible de trouver de la potasse en dissolution; dans celle qui provenait de la terre plâtrée, au contraire, on trouva 0g,472 de potasse.

On mit en outre en contact avec 50g de différentes terres préalablement lavées une dissolution de potasse contenant 0g,163 de potasse à l'état de bicarbonate, ces terres furent lavées après une heure de digestion; on trouva les nombres suivants :

Potasse introduite.	0g,163

Potasse retrouvée après une heure de contact avec 50g de :

Terre de Russie.	0g,117
Terre de Garenne (Seine-et-Oise).	0g,132
Terre d'Éragny.	0k,155

Je crus alors que si le plâtrage favorisait la solubilité de la potasse, c'était sans doute en transformant le carbonate neutre de potasse en bicarbonate filtrant facilement au travers de la terre arable, et j'entrepris une série d'expériences dans le but de vérifier cette idée.

Revenant à l'hypothèse de M. Kulhmann, je cherchai si le plâtre ne brûlait pas le charbon des matières organiques enfouies dans le sol, et je recherchai le charbon des matières organiques dans les terres normales et dans les terres plâtrées.

Les terres pesées dans une petite nacelle de platine étaient introduites dans un tube étranglé en son milieu; la seconde partie était remplie d'oxyde de cuivre; un gazomètre rempli d'oxygène permettait de faire passer un courant de gaz purifié sur de la potasse, au travers du tube; un tube en U à ponce sulfurique, des boules de Liebig et un tube à fragments de potasse caustique recueillaient l'eau et l'acide carbonique produits.

Dans le calcul des nombres trouvés, il a fallu ramener les résultats obtenus sur les terres plâtrées à ce qu'ils eussent été si la terre n'eût pas été additionnée de 1/10 de matière étrangère; on a trouvé ainsi les résultats suivants :

Carbone des matières organiques contenues dans un kil. de terre séchée à l'air.

DÉSIGNATION DES TERRES.	CARBONE contenu avant le plâtrage.	CARBONE contenu après le plâtrage.	DURÉE du contact des terres avec le plâtre.
Terre noire de Russie, n° 2..	26.4	27.2	4 mois.
Id.	25.6	24.2	15 jours.
Id.	27.0	27.8	1 mois.
Id.	27.0	20.2	1 mois 1/2
Terre de Verclives (Eure)...	12.7	12.7	4 mois.
Terre de Russie, n° 1......	18.3	19.9	1 mois.
Terre des Chapelles (Sein.-et-M)	11.3	9.9	1 mois.
Terre de Sologne (t. de bruyère)	25.9	22.7	1 mois.
Somme du carbone........	174.2	165.3	
Moyenne.................	21.7	20.6	

On voit, d'après ces expériences, que la diminution dans la quantité de carbone est bien faible, encore que les expériences aient été prolongées au delà du temps nécessaire pour que les effets du plâtrage fussent sensibles; toutefois, cette diminution dans la quantité de carbone contenue dans la terre arable nous permet peut-être d'expliquer comment on peut trouver, parfois, dans les terres plâtrées plus d'acide carbonique et plus de carbonate de chaux que dans les terres normales.

Pour doser l'acide carbonique total contenu dans la terre, nous n'avons pas pu employer le petit appareil, généralement utilisé dans les laboratoires, et qui ne nous aurait permis d'agir que sur un ou deux grammes de terre; nous avons dû expérimenter sur de plus fortes quantités : 50 gr. de terre étaient placés dans une fiole fermée par un bouchon percé de deux trous, l'un donnait passage à un tube plongeant dans un flacon, renfermant une dissolution étendue d'acide tartrique, et fermé encore par un

bouchon à deux trous; l'un contenait le tube destiné à laisser passer l'acide tartrique, et l'autre, affleurant seulement à la partie inférieure du bouchon, communiquait avec un tube à potasse destiné à purifier l'air qui devait circuler au travers de l'appareil.

Un aspirateur suivi de tubes à potasse caustique et de boules de Liebig formait la seconde partie de l'appareil et communiquait avec la fiole. En laissant couler l'eau de l'aspirateur, l'acide tartrique était entraîné sur la terre arable.

L'acide carbonique, dégagé par l'action de l'acide tartrique sur les carbonates de la terre arable, se desséchait sur de l'acide sulfurique, puis était entraîné dans les boules de Liebig séparées par le tube à fragments de potasse de l'aspirateur; on faisait donc passer deux ou trois litres d'air dans l'appareil pour entraîner tout l'acide carbonique.

Avant d'opérer sur la terre, on a recherché l'acide carbonique dans du carbonate de soude; on a introduit dans la fiole du sable lavé à l'acide chlorhydrique et à l'eau, et du carbonate de soude devant renfermer 0g.046 d'acide carbonique; on a trouvé 0g.043.

Agissant sur les terres, on a trouvé dans un kilog. :

Terre de Touraine plâtrée depuis un mois;		
	expérience n° 1. . .	0g.160
—	— n° 2. . .	0g.200
Terre de Touraine normale;	expérience n° 1. . .	0g.060
—	— n° 2. . .	0g.100

On comprend d'autant mieux qu'il se soit formé plus de carbonate de chaux dans la terre plâtrée par suite de la décomposition du plâtre, qu'il est possible de montrer que la quantité d'acide sulfurique contenue dans une terre plâtrée va peu à peu en diminuant, ainsi que le prouvent les expériences suivantes :

On mélangea du sulfate de chaux avec une terre de Russie riche en matières organiques, et avec du terreau de maraîcher; on détermina l'acide sulfurique contenu dans les trois échantillons de 25 gr.; au moment même où le mélange fut effectué, les trois échantillons furent lavés avec des quantités d'eau froide semblables; on humecta pendant un mois les échantillons

tenus en réserve, et on y rechercha alors de nouveau l'acide sulfurique.

Acide sulfurique dans l'éehantillon n° 1 au moment du plâtrage.	0g.893
Acide sulfurique après un mois.	0g.793
Acide sulfuriqne disparu.	0g.100
Acide sulfurique dans l'échantillon n° 2 au moment du plâtrage.	0g.861
Acide sulfurique après un mois.	0g.806
Acide sulfurique disparu.	0g.075
Acide sulfurique dans un mélange de plâtre et de terreau des maraîchers au moment du plâtrage.	1g.089
Acide sulfurique après un mois.	0g.742
Acide sulfurique disparu.	0g.347

Au premier abord, on pourrait donc attribuer à une formation d'acide carbonique dans la terre arable, due à la combustion lente des matières organiques sous l'influence de l'oxygène du plâtre, la production de bicarbonate de potasse qui passerait facilement au travers de la terre arable sans être retenu; mais on ne tarde pas cependant à reconnaître que la rapidité avec laquelle se manifestent les effets du plâtrage vient combattre absolument cette manière de voir.

La potasse, retenue dans la terre, devient soluble presque au moment où le plâtre est introduit; il n'est donc pas permis de croire à une combustion lente, à une production d'acide carbonique.

Quelque grave que fût cette objection, elle ne démontrait pas cependant absolument que la potasse ne passait pas au travers de la terre arable à l'état de bicarbonate, et, avant d'abandonner complétement cette hypothèse, nous avons voulu encore la soumettre à quelques épreuves.

Nous avons alors recherché quelle était la quantité d'acide carbonique libre et d'acide carbonique des bicarbonates contenue dans la terre, afin de reconnaître si définitivement la potasse filtrait dans la terre arable à l'état de bicarbonate.

Doser l'acide carbonique libre contenu dans la terre arable

est une opération difficile; ce gaz semble être en effet retenu avec une grande énergie; quand on place dans un matras muni d'un tube à gaz de la terre délayée dans l'eau, et qu'on soumet le tout à l'action du feu, on obtient un dégagement d'acide carbonique entraîné par la vapeur pendant fort longtemps.

C'est en chassant l'acide carbonique par une longue ébullition, que nous l'avons recueilli; dans un matras était placée la terre à essayer; soumise à une ébullition prolongée, la vapeur arrivait dans un tube entouré d'un manchon à circulation d'eau froide, et l'eau condensée tombait dans une fiole remplie d'eau de baryte; l'appareil que nous avons employé est le même qu'a construit M. Boussingault pour séparer de la terre arable l'ammoniaque toute formée.

La fiole contenant le carbonate de baryte était ensuite placée dans l'appareil décrit plus haut pour doser l'acide carbonique de carbonates; un appel d'air y déterminait l'arrivée d'un acide qui expulsait l'acide carbonique.

Cette première opération donnait, outre l'acide carbonique libre, l'acide carbonique des bicarbonates décomposés par une ébullition prolongée; pour distinguer dans l'acide carbonique dosé celui qui existait dans la terre sous forme de bicarbonate, on a simplement lessivé la terre arable; on a soumis l'eau de lavage à une ébullition prolongée, et on a dosé comme précédemment.

Cette méthode n'est peut-être pas à l'abri de tout reproche; cependant, je ferai remarquer d'une part qu'il est difficile de faire passer de l'acide carbonique au travers de la terre arable; qu'il est en général retenu assez complétement; que par conséquent l'eau de lavage ne devait guère en entraîner, tandis qu'au contraire elle devait se saisir des bicarbonates, qui filtrent avec facilité, ainsi que nous l'avons vu plus haut.

Les dosages que l'on obtint en employant ces méthodes vinrent bientôt prouver qu'il n'était pas possible de démontrer que la potasse filtrait à travers la terre plâtrée, parce qu'elle était passée à l'état de bicarbonate de potasse; en effet, on obtint tantôt beaucoup plus d'acide carbonique libre dans les terres plâtrées, tantôt plus dans les terres normales; dans une des terres de Touraine, par exemple, on dosa, pour un kilog. de terre plâtrée, 0gr.150 d'acide carbonique, et dans un kilog. de

terre naturelle 0g.280; cependant, dans le premier cas, on avait obtenu une quantité notable de potasse, et seulement des traces dans le second.

Réfléchissant alors que le sulfate de chaux ajouté dans la terre arable devait transformer les sels de potasse qui s'y trouvent en sulfate de potasse, on pensa que sans doute c'était à cette transformation que la potasse devait sa plus grande solubilité, après le plâtrage. — L'expérience vint encore infirmer cette hypothèse; on trouva, en effet, que les terres normales retenaient sensiblement la même quantité de potasse, qu'elle fût introduite à l'état de sulfate ou à l'état de carbonate; on trouva aussi que des terres qui ne laissaient filtrer que des traces de potasse abandonnaient cependant à l'eau des quantités sensibles d'acide sulfurique; ainsi, on ne peut pas attribuer à la transformation de la potasse en sulfate la mobilité qu'elle acquiert sous l'influence du gypse.

Nous devons donc reconnaître que nous ignorons encore à quelle cause attribuer l'effet du plâtre sur la potasse; nous continuons cependant nos expériences sur ce sujet, et nous ne désespérons pas de voir comment sont paralysées par le plâtre les propriétés absorbantes de la terre arable, qui s'exercent avec tant d'énergie sur plusieurs éléments, tandis qu'elles n'ont aucune action sur d'autres.

L'acide azotique, la soude, le chlore, l'acide sulfurique sont, en effet, peu retenus par la terre arable, se retrouvent dans les eaux de lavage et dans les eaux qui s'écoulent des drains placés dans les sols bien fumés; la potasse, l'ammoniaque et l'acide phosphorique, au contraire, font défaut... Le plâtre et la chaux seraient employés à mobiliser ces derniers éléments, et il y aurait, entre le rôle du plâtre et celui de la chaux, quelques points communs en même temps que des différences profondes.

Le plâtre, ajouté dans la terre arable, aurait pour mission de liquéfier les sels solubles qui y sont habituellement retenus; il les préserverait contre l'action absorbante de la terre, et permettrait à l'eau de les dissoudre, aux plantes de les absorber: à ce titre-là, on pourrait le considérer encore, suivant une expression adoptée aujourd'hui, comme agent assimilateur.

Le rôle de la chaux n'est pas tout à fait semblable, elle attaque les matières insolubles, elle les transforme; j'ai appuyé sur

l'effet qu'elle exerce sur les phosphates insolubles il y a déjà plusieurs années [1], et j'y reviendrai bientôt. M. Boussingault a montré également que la chaux attaquait les matières azotées insolubles, favorisait la formation de l'ammoniaque; la chaux est donc aussi un agent assimilateur, mais celle-ci porte son action sur des matières insolubles, elle agit chimiquement, elle décompose certaines matières pour les amener à un autre état; le plâtre, au contraire, semble agir physiquement pour délier, pour mobiliser les substances solubles que la terre renferme. Parmi ces substances solubles, importantes pour la végétation, se place en première ligne la potasse; c'est donc sur elle qu'il exercera surtout son action. De même que la chaux est l'agent assimilateur des phosphates et de l'azote à l'état d'ammoniaque, le plâtre est pour nous l'agent assimilateur de la potasse.

1. *Comptes rendus*, décembre 1858, t. LXVII, p. 988.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

RAPPORT

PRÉSENTÉ

A S. Exc. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, sur l'Enseignement du Conservatoire des Arts et Métiers en 1862-1863.

Monsieur le Ministre,

En vous adressant le rapport annuel par lequel j'ai, depuis quelques années, pris l'habitude de mettre en évidence les résultats de l'enseignement du Conservatoire, je crois devoir cette fois entrer dans quelques détails qui vous permettront d'apprécier la marche et l'importance de cet enseignement.

Nature et conditions de l'enseignement du Conservatoire.

Les cours publics et gratuits de sciences appliquées aux arts, professés au Conservatoire, ouverts avec libéralité aux nationaux et aux étrangers, constituent un enseignement libre, analogue à ceux de la Sorbonne, du Collége de France et du jardin des Plantes. S'il a plutôt pour but les applications de la science que la science elle-même ou proprement dite, il n'en doit pas moins rester toujours au niveau des progrès de celle-ci, et la composition si variée de l'auditoire auquel il s'adresse établit, pour les professeurs, une difficulté spéciale plus grande qu'on ne le croit généralement.

Exposer les principes de la géométrie descriptive et ceux de la mécanique ainsi que leurs applications, sans recourir à des formes scientifiques d'un ordre trop élevé pour la plupart des auditeurs; déduire de quelques notions générales et des faits de l'observation, les lois des phénomènes physiques, chimiques et

agricoles, et en conclure les procédés rationnels à suivre dans la pratique des arts; faire en un mot d'une manière simple, accessible aux intelligences ordinaires, un enseignement scientifique rigoureux, sans recourir à des calculs ou à des raisonnements trop délicats à suivre, constitue une difficulté considérable, dont les hommes de science qui n'ont pas abordé ce genre d'enseignement ne se rendent pas assez compte : c'est d'ailleurs une exigence à laquelle il est indispensable de satisfaire sous peine de tomber soit dans l'écueil d'un professorat banal, sans principes assurés, soit dans celui non moins fâcheux d'expositions trop dogmatiques, hérissées de calculs et de formules, qui ferait fuir les auditeurs trop peu préparés pour les comprendre ou déjà engagés depuis quelque temps dans les travaux de l'industrie.

A cette difficulté, à laquelle certains cours ne peuvent complétement échapper, vient se joindre, pour le Conservatoire des arts et métiers, la nécessité de tenir son enseignement au courant de tous les progrès, si rapides aujourd'hui, que font la science et ses applications, tant en France qu'à l'étranger. Sous ce rapport, et par suite de cette nécessité même, cet enseignement est forcément l'un des plus progressifs qui se donnent au monde.

Quatorze cours publics sont professés au Conservatoire.

Deux sont consacrés à la géométrie et à ses applications;

Un à la mécanique appliquée aux arts;

Un aux constructions civiles;

Quatre aux diverses branches de la chimie industrielle ou agricole;

Un à la physique;

Un à l'agriculture;

Un à la zoologie appliquée;

Un à la filature et au tissage;

Deux à la législation et à l'administration industrielle.

La plupart de ces cours embrassent des matières assez étendues et assez variées pour que les professeurs ne puissent parcourir le cercle entier des connaissances qu'ils doivent exposer qu'en deux ou trois années, ce qui donne à l'enseignement une variété utile. Mais, quand le nombre des branches diverses d'un même ordre de connaissances qu'un seul professeur doit expo-

ser exige un plus grand nombre d'années, ainsi que cela arrive pour le cours de mécanique, il en résulte que la période pendant laquelle le cercle complet de ces connaissances doit être parcouru est trop longue et ne peut être suivie dans son entier par les mêmes auditeurs, ce qui en empêche un assez grand nombre d'achever leur instruction au moyen de ces cours publics, en même temps que cela s'oppose à ce que les progrès faits dans quelques branches des industries qui se rattachent à cet enseignement ne soient promptement portés à la connaissance du public.

Du public ordinaire des cours.

La liberté absolue d'introduction gratuite aux cours du Conservatoire, la variété des matières qui y sont traitées, leur tenue dans la soirée et aux jours du dimanche, donnent au public qui fréquente les cours du Conservatoire un aspect particulier et une composition spéciale. A côté des jeunes gens qui se destinent aux diverses industries, près des contre-maîtres et des chefs d'atelier qui, après le labeur du jour, viennent se reposer en s'instruisant, se trouvent des chefs d'établissement, des étrangers accourus de divers pays, soit pour se mettre au courant des progrès de la science et de l'industrie, soit pour se préparer à répandre dans leur patrie un enseignement analogue.

Mais, malgré cette variété d'origines, d'apparence, de but, ce public, toujours si nombreux, est à la fois aussi sympathique que respectueux. Il est sans exemple jusqu'ici que, même dans les temps les plus difficiles, le moindre tumulte s'y soit jamais manifesté, quoique des questions délicates et parfois brûlantes y aient été traitées avec une pleine indépendance par les professeurs.

La grande majorité des auditeurs des cours se composant d'ailleurs de personnes qui sont occupées pendant le jour, les leçons se donnent dans la soirée pendant la semaine, et le dimanche seulement pendant la journée. On a cru longtemps que ce jour de repos devait être plus favorable pour attirer le public; mais les relevés journaliers du chiffre des auditeurs présents nous ont depuis quelques années prouvé le contraire, et si le nombre des amphithéâtres le permettait, il serait, je crois,

préférable de reporter les cours du dimanche aux soirées de la semaine.

Une autre conséquence de la composition du public du Conservatoire qui, pour la plus grande partie, est attaché aux établissements industriels, se manifeste au printemps, lorsque l'allongement des jours permet de prolonger plus tard le travail des ateliers. Alors, un grand nombre d'auditeurs n'étant plus libres assez tôt pour arriver aux premiers cours du soir, la fréquentation diminue notablement. Cet effet se manifeste dès les premiers jours d'avril; il explique la nécessité de terminer les cours au plus tard vers la fin de ce mois, et à ce motif se joint encore la convenance de laisser à MM. les professeurs le loisir nécessaire aux recherches et aux voyages qu'ils entreprennent presque tous pour se tenir au courant des progrès qu'ils doivent faire connaître.

L'établissement ne possédant que deux amphithéâtres, dont l'un peut contenir 700 auditeurs et l'autre 360, et le nombre des cours étant de quatorze, on est conduit nécessairement à donner deux leçons chaque soir et chaque dimanche dans l'un et l'autre local : la première leçon du soir commence à sept heures et demie, la seconde à huit heures quarante-cinq minutes, et ne finit que vers dix heures.

Si l'on tient compte des distances que les auditeurs, pour la plupart occupés tout le jour, ont à parcourir pour venir assister à ces leçons et pour rentrer chez eux le soir, pendant la saison d'hiver, on ne peut s'empêcher d'être frappé de ce besoin d'apprendre qui, chaque soir, conduit 1500 à 1800 auditeurs sur les bancs de nos amphithéâtres.

Programmes des cours.

Chaque année le conseil de perfectionnement, composé de professeurs et d'un nombre à peu près égal d'industriels éminents, dont le dévouement aux intérêts de la science et de l'industrie est notoire, arrête le programme de l'enseignement.

Dans la rédaction de ces programmes, le conseil veille à ce que, sans méconnaître les points de contact que peuvent avoir les diverses branches de l'enseignement, on tienne compte du concours qu'elles peuvent se prêter, de telle façon que plusieurs

professeurs n'emploient pas un certain nombre de leçons à traiter des mêmes matières.

Une mesure que je regarde comme très-utile pour faire connaître l'esprit général de l'enseignement et assurer l'observation exacte des programmes arrêtés, a été proposée l'année dernière par l'un de MM. les professeurs, approuvée par le conseil, et mise à exécution. Elle consiste dans l'inscription sommaire, faite, par chaque professeur, sur un registre spécial, des matières traitées dans la leçon qu'il vient de donner. L'examen de ces sommaires, conservés et réunis sur un registre spécial, servira à montrer, d'année en année, la marche et les progrès de l'enseignement; il fera connaître avec quels soins toutes les découvertes nouvelles de la science et de l'industrie y sont portées à la connaissance du public, et signalera en même temps les desiderata auxquels il faudrait encore donner satisfaction. Comme moyen d'ordre, il permettra non-seulement de constater que les programmes arrêtés ont été observés et remplis, mais encore de montrer l'ensemble des questions traitées, et de faire connaître si les professeurs se renferment dans les limites de l'enseignement spécial qui leur est confié. Il mettra, en outre, à même de répondre facilement aux fréquentes demandes de création de cours qui sont présentés comme nouveaux, tandis qu'en réalité les matières dont on propose d'entretenir le public sont déjà comprises dans le cercle général des connaissances exposées au Conservatoire.

RÉSULTATS STATISTIQUES.

Depuis plusieurs années, la direction du Conservatoire fait tenir pour chaque leçon la note exacte du nombre d'auditeurs présents, et un relevé sommaire en a été adressé tous les ans à S. Exc. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics. Je reproduis ici, dans le tableau suivant, l'ensemble de ces relevés depuis l'année 1855-1856, jusqu'à celle de 1862-1863 inclusivement.

État *numérique des auditeurs présents aux différents cours publics du haut enseignement, professés au Conservatoire depuis l'année* 1855-1856 *jusqu'à l'année* 1862-1863.

ANNÉES.	NOMBRE TOTAL des leçons.	NOMBRE TOTAL des auditeurs.	NOMBRE MOYEN des auditeurs par leçon.
1855-1856	499	145 957	293
1856-1857	564	154 007	273
1857-1858	576	171 730	298
1858-1859	594	159 087	247
1859-1860	604	161 742	269
1860-1861	590	159 538	270
1861-1862	549	158 319	288
1862-1863	529	176 829	324

CONSÉQUENCES DU TABLEAU PRÉCÉDENT.

En comparant les nombres consignés dans ce tableau pour l'année 1862-1863, on voit d'abord que les maladies graves qui ont atteint trois des professeurs, et quelques indispositions éprouvées par d'autres, ont réduit cette année le nombre total des leçons, qui avait été en moyenne de 579 de 1856 à 1861, au chiffre de 529, ce qui constitue une réduction de 50 leçons pour l'année entière.

Malgré cette réduction considérable, le nombre total des auditeurs qui ont assisté aux leçons en 1862-1863, s'est élevé à 176 829, tandis que la moyenne des années écoulées de 1856 à 1862 n'avait été que de 160 737. Il y a donc eu dans la dernière année une augmentation de 16 092 auditeurs ou de un dixième, quoique le nombre des leçons ait été diminué de 50 ou d'environ un onzième.

Le nombre moyen des leçons faites par MM. les professeurs qui n'ont pas été sérieusement malades, a été de 41 à 42, et le nombre moyen d'auditeurs par leçon, qui n'était dans la période de 1856 à 1861 que de 277, s'est élevé en 1862-1863, à 334, ce qui constitue, par leçon, une augmentation moyenne de 57 audi-

teurs, ou d'un cinquième environ sur la moyenne des années précédentes.

Ces résultats très-satisfaisants montrent que l'enseignement du Conservatoire des arts et métiers a pris, dans l'opinion publique, une faveur croissante et assez marquée pour que, de 1856 à 1863, le nombre des auditeurs des mêmes cours se soit accru de 145 957 à 176 829 ou de 30 872.

Si le mouvement intellectuel, si le besoin d'apprendre qui se manifestent d'une manière aussi remarquable à notre époque, se sont produits dans le nombre des individus qui viennent puiser dans un seul établissement, placé au centre du pays, un enseignement qui leur est nécessaire, quels résultats ne devrait-on pas attendre d'une organisation complète de l'enseignement industriel et professionnel étendu à tout le pays et sagement proportionné aux ressources et aux besoins des industries locales !

DU COLLODION.

A son enseignement scientifique, le Conservatoire impérial des arts et métiers joint celui que peuvent procurer la vue et l'étude des collections de modèles et d'instruments, incessamment accrus par des acquisitions nouvelles et par la sympathie qu'il inspire aux industriels nationaux et étrangers. L'immense et croissante affluence du public dans ces galeries en atteste toute l'utilité.

Une galerie de machines en activité, pourvue de larges moyens d'expérimentation, permet d'y constater les résultats et la valeur industrielle des machines nouvelles que l'on y présente. Si les jugements que l'expérience nous dicte ne sont pas toujours aussi favorables que les inventeurs le désireraient, les procès-verbaux qui les expriment offrent la preuve irrécusable d'une impartialité à laquelle ils se plaisent généralement à rendre justice.

La bibliothèque, qui contient environ 16 000 volumes, consacrés aux sciences et à l'industrie, est ouverte au public six jours par semaine, et dans le cours de l'année dernière le nombre des lecteurs s'y est élevé à plus de 8000.

Enfin la galerie dite du *Portefeuille*, dans laquelle sont réunis plus de 7000 dessins, exactement cotés, des machines les plus

importantes et les plus nouvelles, offre aux ingénieurs une collection unique en son genre, dans laquelle un grand nombre d'entre eux viennent puiser d'utiles documents.

Tels sont aujourd'hui, monsieur le ministre, les services que le Conservatoire des arts et métiers s'efforce de rendre à l'industrie.

Lorsque les mesures si opportunes, dont le lumineux rapport adressé à S. M. l'Empereur par M. Rouher, votre prédécesseur, provoque l'étude, auront successivement doté nos principaux centres industriels d'un enseignement approprié aux besoins particuliers à chacun d'eux, libre dans sa marche, et cependant coordonné conformément aux principes de la science, le Conservatoire sera sans doute appelé à prendre une part dans ce labeur commun. Quelle qu'elle soit, son dévouement au pays et aux vues généreuses du gouvernement de l'Empereur ne fera pas défaut.

Je ne crains pas, monsieur le ministre, de m'en porter garant au nom de MM. les professeurs et des membres du conseil de perfectionnement.

Je suis avec respect,

Monsieur le ministre,

De Votre Excellence,

Le très-humble et très-obéissant serviteur.

Le général de division, membre de l'Institut, directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

A. MORIN.

ESSAIS

SUR LA CONSERVATION DES FARINES

ENTREPRIS PAR ORDRE DU MINISTRE DE LA GUERRE DE 1857 A 1863,

PAR M. LE GÉNÉRAL MORIN.

Si le développement des relations commerciales et la facilité des communications par les chemins de fer ont fait perdre une grande partie de son importance à la question de la conservation des blés, et en a limité l'application aux produits de la récolte d'une ou deux années, la conservation des farines destinées à l'approvisionnement de la flotte, à celui des places et des troupes engagées dans des expéditions lointaines, n'en est pas moins restée d'une grande utilité. — Aussi a-t-on cherché depuis longtemps les moyens de résoudre d'une manière pratique cette dernière question. Sans rappeler ici les diverses tentatives qui ont été faites à ce sujet, je dirai qu'elles reposent sur deux procédés différents qu'il ne serait guère possible d'employer simultanément, ce qui d'ailleurs ne paraît pas nécessaire, comme on le verra plus loin.

Les deux procédés employés sont la compression et l'étuvage. Je rappellerai succinctement en quoi ils consistent et quels résultats l'on peut en obtenir.

La farine étant une matière amenée à un très-grand état de division, elle se tasse facilement et prend dans les sacs ou dans les caisses où on la place une densité d'environ $0^k,754$ au décimètre cube. Dans des essais que j'ai dirigés en 1856-57-58 par ordre du ministre de la guerre, on n'a pu réduire le volume de la farine que de 30 p. 100 environ de son volume après le tassement, et l'amener à une densité de plus de $1^k,06$ au décimètre

cube, en opérant sur des caisses de $0^m,35$ de largeur sur $0^m,60$ de longueur et $0^m,30$ de hauteur, contenant 60 kilogr. de farine. La pression exercée par centimètre carré, pour obtenir cette densité, était de 80 kilogrammes, et correspondait pour la surface pressée, qui était de $35 \times 60 = 2100^{c.q.}$, à 248 000 kilogr., ce qui était à peu près la force maximum des presses dont on disposait.

Ces résultats sont d'accord avec ceux qui ont été obtenus à Brest par la marine, dans des expériences faites en 1856.

Lorsque l'on opère sur une quantité de 50 à 60 kilogrammes avec des caisses en bois, comme nous l'avons fait à Paris et comme l'a aussi essayé la marine, la nécessité de consolider ces caisses par des ferrures et de donner au bois assez d'épaisseur pour qu'elles résistent à la pression, conduit à un volume brut du contenant et du contenu qui compense la diminution de volume obtenue par la pression. Il n'y a donc, sous le rapport de l'arrimage, que le faible avantage que peut procurer l'emploi des caisses au lieu de celui des sacs.

Mais si l'on agit sur des quantités plus faibles, outre qu'il est alors facile d'obtenir une plus grande densité, l'on peut renfermer la farine pressée dans des boîtes en fer-blanc, ce qui permet de profiter pour l'arrimage de toute la réduction de volume opérée.

M. Wawra, de Vienne (Autriche), a présenté à l'Exposition de Londres en 1862 des farines comprimées en pains de $1^k,726$ environ, n'ayant qu'un volume de $1^{dc},37$, et par conséquent d'une densité de $1^k,259$ au décimètre cube, ou égale à 1,67 fois celle de la farine simplement tassée.

Or des expériences directes, dont j'ai rendu compte en 1859, sur la compression des farines, semblent indiquer que la densité ne s'accroît que proportionnellement à la racine carrée des pressions; il s'ensuivrait que pour obtenir la densité des farines exposées par M. Wawra de Vienne il faudrait exercer une pression égale à

$$x = 80 \times \left(\frac{1,67}{1,06}\right)^2 = 198 \text{ kil. par mèt. carré.}$$

Les pains de farine de M. Wawra ayant $0^m,132$ de diamètre,

ou 174 centic. carrés de surface, il s'ensuit que, pour comprimer des pains de farine pesant 1k,726, il faudrait employer une pression de près de 34 822 kilogrammes.

En supposant même que, par des dispositions faciles à imaginer, l'on puisse comprimer à la fois plusieurs pains, il me paraît évident que cette opération augmenterait considérablement le prix des farines ainsi préparées; car à Brest, pour obtenir une compression beaucoup moindre, il a fallu faire une dépense de 19 fr. 36 par 100 kil. au lieu de 5 francs que coûte l'emballage ordinaire.

Le procédé de M. Wawra, ou la compression par petites quantités, qui permet de doubler la densité, paraît, il est vrai, très-favorable à la bonne conservation des farines. Pour la mieux assurer, il avait même enveloppé les pains présentés à l'Exposition avec une feuille d'étain; mais il se contente ordinairement de les enfermer dans une boîte de carton.

Un pain de farine, revenu de l'Exposition de Londres, où il avait été envoyé en mai 1862, a été panifié à la Manutention de Paris en juin 1863, et a donné d'excellent pain.

Cependant il faut dire que la farine ainsi comprimée est devenue extrêmement dure; qu'il est indispensable de l'écraser, de la pulvériser, et, si l'on peut de la bluter, avant de la mouiller et de la pétrir; ce qui peut offrir en campagne quelques difficultés à son emploi.

Ces diverses observations me portent donc à penser que le procédé de la conservation des farines par une compression énergique et par petites quantités ne peut être accepté que pour l'usage des voyageurs isolés, et qu'il est trop dispendieux pour être appliqué à l'alimentation des armées et de la flotte.

Quant à la compression des farines par quantités de 50 à 60 kilogrammes renfermés dans des caisses en bois, quoiqu'elle augmente le prix des farines de 19 ou 20 francs, ou de 50 p. 100, si elle offrait pour la conservation de cette denrée alimentaire les garanties nécessaires, il n'y aurait pas lieu de s'arrêter devant une dépense si utile pour l'alimentation de nos soldats; mais malheureusement le degré de compression que, dans le service courant, l'on peut obtenir, ne suffit pas pour préserver la farine de l'altération.

Des expériences faites avec soin, de 1856 à 1859, laissent d'au-

tant moins de doute à cet égard, que les farines qne l'on avait ainsi préparées avaient été en partie conservées à l'un des étages de la Manutention de Paris, et parfaitement à l'abri de toute humidité.

Si une partie des rapports de la marine, sur des farines comprimées à peu près au même degré, semblent émettre une opinion plus favorable sur celles qui avaient supporté deux ans à peine de conservation, cela tient peut-être à ce que les marins ne sont que trop souvent exposés à ne consommer que des farines avariées, et d'ailleurs il faut observer que ces conclusions n'ont été appliquées qu'à des farines conservées dans des caisses en fer-blanc.

En résumé, il me semble que pour le service des armées de terre et de mer le procédé de la compression ne peut pas être accepté, et que son emploi doit être limité à l'usage des voyageurs isolés.

Après les essais peu satisfaisants que nous avions faits du procédé précédent, je reçus l'ordre d'essayer de celui de l'étuvage, qui est en usage dans quelques ports de l'Océan et particulièrement à Bordeaux.

Ce procédé consiste à introduire et à faire circuler lentement la farine dans une étuve chauffée à 70 ou 80 degrés au plus pendant une ou deux heures. A cet effet, des auges demi-cylindriques en nombre variable, de sept à huit chez les uns, de douze à quinze chez les autres, sont disposées les unes au-dessous des autres, et reçoivent chacune une vis d'Archimède qui, par son mouvement, oblige la farine à la parcourir dans toute sa longueur. Cette farine, introduite par une trémie dans l'auge supérieure, passe ainsi à la deuxième auge, dont la vis la ramène en sens contraire pour la verser dans la troisième, et ainsi de suite.

Parvenue à la dernière auge, la farine est versée sur l'aire d'une chambre, où elle est mise en barils et légèrement pressée.

Une étuve à sept augets peut fournir en 14 heures 100 barils de 88 kilogrammes de farine, à laquelle l'opération a enlevé 4 à 6 p. 100 de son poids d'humidité.

L'on sait qu'à l'état normal la farine contient en moyenne 14 pour 100 de son poids d'eau ; mais, après avoir été amenée à n'en conserver que 10 p. 100, elle reprend, soit dans la chambre

de refroidissement où elle est mise en barils, soit dans les barils eux-mêmes, 2,5 p. 100, et en conserve en définitive 12,5 p. 100.

Le résultat net de l'opération est donc bien peu important, et à moins que l'exposition pendant deux heures et demie à une température qui ne doit pas dépasser 70 à 80°, ne détruise quelques germes fermentescibles, ce qui me paraît au moins douteux, il est assez difficile de se rendre compte de l'effet propre de l'étuvage.

La rapidité avec laquelle la farine reprend l'humidité qui lui a été enlevée dans l'étuve tient non-seulement à son avidité pour l'eau, mais encore à son excessive division; aussi est-ce une mauvaise opération de la faire arriver dans une chambre de refroidissement où on la met ensuite en baril.

C'est par ce motif que, dans l'installation de l'étuve d'essai que nous avons employée à la Manutention, j'ai exigé que le baril destiné à recevoir la farine fût introduit et rempli dans l'étuve même, et que cette farine y fût tassée avant qu'on ne sortît le baril, que l'on fermait ensuite immédiatement.

Les barils en bois de chêne que nous avons employés étaient très-secs, cerclés en fer; on les avait maintenus pendant quelque temps dans la chambre de la machine à vapeur, et ils avaient été rebattus à trois reprises différentes. Ils étaient donc dans les meilleures conditions possibles; leur prix était de 13 fr. l'un, avec six cercles en fer, et ils contenaient un poids net de 125 à 145 kilogrammes de farine, ce qui revenait à 10 fr. 40 ou 11 fr. 60 par 100 kil. de contenu. Mais craignant, non sans raison, comme la suite l'a montré, que le bois n'absorbât une certaine quantité d'humidité, qui pourrait se transmettre à la farine et en altérer le goût, j'ai demandé en outre que l'on fît un essai comparatif avec des tonneaux en tôle ordinaire et en tôle galvanisée, de 2 millimètres d'épaisseur. Ce dernier modèle a coûté 26 fr. 90, à raison de 0 fr. 80 le kilogramme. Il pesait 33^{k},64, et contenait environ 130 kilogr. de farine, ce qui met le prix du récipient à 20 fr. 70 pour 100 kilogrammes de farine.

Les procès-verbaux des visites faites après un an, deux ans et trois ans de séjour, et dont le dernier terme a été la clôture des expériences, ont constaté les résultats suivants :

FARINE ÉTUVÉE.

Tonneaux en bois. La farine des deux tonneaux placés au quatrième étage du bâtiment des silos de la Manutention, c'est-à-dire dans de très-bonnes conditions d'aérage, a été trouvée en assez bon état, et jugée en outre panifiable après aération.

La conservation de la farine du troisième tonneau, placé dans le sous-sol un peu humide du même bâtiment, était beaucoup moins satisfaisante : on y a trouvé 15 kilogrammes de farine prise en masse dure sentant le moisi; le reste avait un fort goût de rance et d'acidité.

Tonneau en tôle galvanisée. Farine en parfait état.

FARINE NON ÉTUVÉE.

Tonneaux en bois. Les trois tonneaux placés au quatrième étage du bâtiment des silos ont été trouvés, comme ceux de farine étuvée, dans un état assez satisfaisant.

Les deux tonneaux du sous-sol ont donné l'un 13k,5, l'autre 7 kil. de farine prise en masse et sentant le moisi. Le reste de la farine avait une odeur et un goût de rance très-prononcé.

Tonneau en tôle galvanisée. Farine en état passable, mais moins satisfaisant que celui de la farine étuvée.

L'on a fait trois parts de la farine retirée des tonneaux, savoir :

1° Farine avariée, impropre au service, provenant presque en entier des tonneaux placés dans le sous-sol humide. La quantité s'est élevée à 35 kilogrammes, ou à la proportion de 8 p. 100 du contenu des tonneaux.

2° Farine reconnue panifiable, ayant plus ou moins d'odeur, d'acidité, et provenant de tous les tonneaux en bois et du tonneau en tôle de farine non étuvée. Cette farine pouvait être employée, même sans mélange avec de la farine fraîche, après avoir été repassée au blutoir et pelletée pendant plusieurs jours.

3° Farine restée en bon état, panifiable, sans autre prépara-

tion qu'un peu d'exposition à l'air; elle provenait en totalité de la farine étuvée et renfermée dans le tonneau en tôle galvanisée.

Pour compléter l'appréciation qui précède, les farines des derniers lots ont été, après les remaniements reconnus nécessaires, l'objet d'épreuves de panification.

Les farines du deuxième lot avaient *bonne main* au travail, belle apparence, et elles avaient presque entièrement perdu le goût de vieux qui les caractérisait. Le travail au pétrin s'est bien fait, et le pain, quoique n'ayant pas le goût très-franc, comparativement aux produits du service courant, a paru assez bon et distribuable. Si la farine de ce lot avait été mélangée avec de la farine fraîche, le pain eût paru irréprochable.

Les farines du troisième lot, qui avaient été étuvées et conservées dans un baril de tôle galvanisée, n'ont présenté, ni dans le travail, ni dans la qualité du pain, de différence marquée avec celles du service courant.

Conséquences. Il résulte de ces expériences continuées pendant plus de six années :

1° Que le procédé de la compression pour la conservation des farines ne peut donner de bons résultats que quand on opère sur de petites quantités, et qu'il ne paraît pas susceptible d'être appliqué avec avantage et économie à la préparation de caisses de 50 à 60 kilogrammes et plus.

2° Que le procédé de l'étuvage doit être conduit de manière que les farines soient tassées et embarillées dans l'étuve même, afin qu'elles ne puissent pas reprendre l'humidité dont elles ont été privées.

3° Que la nature du barillage a une très-grande influence sur la conservation, et que des barils en tôle zinguée, bien clos, permettent de conserver, pendant trois ans au moins, à l'état de pureté parfaite, des farines convenablement étuvées.

Pour le service des armées en campagne, il convient que les charges soient divisées et modérées, et par conséquent les barils de farine ne devraient pas peser plus de 50 à 60 kil. l'un, tout compris. D'une autre part il est facile de disposer une fermeture hermétique, commode à ouvrir, qui permette de réexpédier les barils après la consommation de la denrée.

Il convient en effet de remarquer que les farines ainsi préparées étant destinées soit au service de la flotte, soit à celui des approvisionnements qu'elle transporte ou à celui des places, la conservation et le retour des barils en tôle zinguée ne doit pas offrir plus de difficultés que pour les caisses à eau.

Dans ces conditions, les frais de conservation des farines étant limités à peu près à ceux de l'étuvage, ils se trouveraient bien inférieurs à ceux qu'occasionnerait l'emploi des presses sur de petites quantités.

SUCCÉDANÉS DU COTON[1].

PAR MICHEL ALCAN.

Pour parer à la disette du coton et aux conséquences désastreuses qui en résultent, l'on s'est mis de toutes parts à la recherche de moyens pour produire une substance textile propre à le remplacer. Au nombre des remèdes plusieurs fois annoncés avec confiance et parfois avec enthousiasme, pour remédier à la crise, il faut placer en première ligne la transformation de certains végétaux de divers climats en cellulose, susceptible, disait-on, d'être travaillée comme le coton, et de donner des produits équivalents aux siens. Diverses substances amenées à l'état de filaments purs plus ou moins textiles sont en général désignées sous le nom générique de *succédanés du coton*. Souvent consulté sur la valeur de ces fibres, nous croyons utile de résumer ici le résultat de nos recherches et de nos observations à ce sujet.

Les interstices vasculaires, les spires des parois des tiges, les nervures des feuilles, les duvets des gousses et des chatons d'une quantité innombrable de plantes, sont des agrégations de filaments plus ou moins fins, élastiques, résistants, abondants, faciles à isoler et à épurer, et propres en apparence à être transformés en fils et en étoffes.

La plupart des végétaux des différents climats, supposés susceptibles de fournir des matières textiles avantageuses, ont été l'objet de recherches industrielles. Les essais déjà anciens sont plus nombreux qu'on ne pourrait le croire à la vue des annonces réitérées de prétendues découvertes de substances filamenteuses propres à rivaliser avec celles en usage, et surtout avec le coton. Lorsque celui-ci fit son apparition dans l'industrie, on avait expérimenté une foule d'autres fibres végétales dans

1. Cette note est extraite d'un chapitre du *Traité de la fabrication des étoffes de coton*, sous PRESSE, par Michel Alcan.

le même but. Le développement extraordinaire de la culture du cotonnier dans le nouveau monde, et la fortune industrielle qui en résulta dans l'ancien, continuèrent à stimuler les recherches et les essais dans le but de lui trouver sinon un rival, on ne l'espérait déjà plus, au moins une *doublure* ou *substitut* au besoin. Les investigations et expérimentations, qui remontaient à plus de deux siècles [1], ont été reprises avec une nouvelle énergie depuis le commencement de la crise cotonnière à laquelle nous assistons. Si les recherches faites jusqu'ici n'ont pu faire découvrir une substance dont les avantages économiques, les caractères et les propriétés soient susceptibles de rivaliser avec le coton, elles ont du moins contribué à importer récemment et à transformer en Europe des matières exotiques telles que le *china grass* et surtout le *jute*, dont l'emploi se développe chaque jour au profit du domaine des arts textiles. L'importance de la fabrication de la dernière de ces matières, considérée sous le rapport du poids manufacturé, dépasse déjà en Angleterre de beaucoup celle du chanvre, et n'est pas éloignée de celle du lin, avec les produits desquels les siens peuvent se confondre en apparence. Des fibres analogues plus flatteuses même à l'œil, telles que celles du phormium, des agaves, des yucas, des ananas, etc., antérieurement connues et essayées en Europe, n'ont pu jusqu'ici devenir l'objet d'une fabrication sérieuse. Leur transformation a encore généralement lieu par le travail à la main, et leur usage se borne à quelques objets de vannerie, de passementerie et de cordages. Cependant des filaments moins susceptibles à première vue d'une exploitation pratique, tels que ceux du genêt d'Espagne, de l'écorce des noix de cocos, du palmier nain, des feuilles du pin, donnent lieu, dans diverses contrées, à des industries intéressantes par les caractères des produits qui en résultent, si ce n'est par une grande importance.

Le bas prix de la matière première, sa ténacité, joints à certaines propriétés que la transformation sait y développer, permettent d'en faire, à l'état pur ou mélangé de laine, des produits économiques tels que des tapis communs, du crin végétal, des couvertures et autres tissus communs.

1. Olivier de Serres entre autres indique un mode de traitement de l'écorce du mûrier pour en retirer des filaments propres à faire des cordages et des toiles.

Mais ce ne sont pas les fibres telles qu'elles existent naturellement dans les tiges, les feuilles et les écorces, lors même qu'elles seraient isolées et épurées avec le plus grand soin, qui paraissent devoir fournir une substance offrant les caractères si remarquables du coton; c'est dans les duvets des plantes qu'il est rationnel de lui chercher le substitut si désiré : c'est là que les botanistes et les technologues les ont tout d'abord signalées aux industriels.

Diverses sortes de duvets végétaux dont les arts textiles ont essayé la transformation.

Plusieurs espèces de chardons ordinaires, dont fait partie le *chardon aux ânes* (*carduus*), qui fleurissent l'été presque partout dans nos climats aux bords des chemins, se terminent par des aigrettes plumeuses, et sont couvertes sur leurs diverses parties d'un duvet cotonneux imitant une toile d'araignée; l'on a cherché depuis longtemps à l'utiliser soit pure, soit mélangée de coton ou de laine, pour en faire des fils. Les technologues et industriels allemands se sont surtout occupés de cette application vers la fin du dernier siècle. On lit dans un ouvrage allemand, publié à Leipzig en 1794[1] : « 4 300 houppes sèches de « chardons pesant un peu plus de trois livres, donnent une livre « de duvet épuré qui peut produire autant de résultat au feutrage « que 10 livres de poils de lièvre d'hiver. » L'auteur ajoute, d'après divers recueils allemands, que « ce duvet et d'autres ana- « logues, tirés de différentes plantes, ont été également mélangés « à de la laine, du coton, de la soie, et transformés en fils lisses « pour trame et même pour chaîne, en les tordant et en les en- « collant convenablement. »

Différentes espèces de plantes marécageuses, de roseaux, et entre autres l'*arundo* et le *typha*, massette vulgaire, qui végètent, les premiers, dans le midi de la France, en Espagne, en Italie et dans tout le midi de l'Europe, les seconds, aux bords des rivières et dans les étangs et terrains boueux de la plupart de nos contrées, donnent aussi des filaments longs et soyeux très-fins, fort légers, qui enveloppent la fleur après sa maturité. Ces substances

1. *Technische geschicte der pflanzen*, t. I, page 572.

filamenteuses ont été également, depuis plus d'un demi-siècle, l'objet de recherches abandonnées et reprises de temps à autre. Le peu de longueur de certains d'entre eux, leur faible densité et surtout l'absence d'élasticité sensible, les rend peu propres aux opérations de la filature et surtout aux étirages, si on les emploie purs. Mais il n'est pas impossible d'en faire des fils en les mélangeant à certaines autres substances textiles et principalement à la laine vrillée, attendu que leur caractère le plus remarquable réside dans leur propriété feutrante. Les duvets de l'arundo offrent cette faculté d'une manière inattendue pour une substance végétale. Il résulte, en effet, d'expériences auxquelles nous nous sommes livré, que l'on peut obtenir un bon feutre pour chapeau avec un mélange de poil de lapin où l'arundo entre pour à peu près les deux tiers en poids. Si l'application pratique de cette matière n'a pas le succès auquel son aptitude spéciale semble la destiner, c'est sans doute à cause de la difficulté de séparer économiquement les nombreuses paillettes corticales auxquelles elle adhère intimement dans l'aigrette, le travail à la main de cette épuration élevant considérablement le prix de revient. Cet inconvénient était bien moindre à une époque où la valeur de la main-d'œuvre était insignifiante. Cette circonstance explique, ce nous semble, comment l'usage de ce genre de filaments a pu, pour un moment, se développer sérieusement au dernier siècle, avant l'ère du travail automatique.

L'osier fleuri (*epilorium*), le peuplier (*populus*), le saule (*salix*), les asclépias et plusieurs espèces d'arbres et de plantes indigènes analogues, dont les semences sont accompagnées ou enveloppées à leur maturité d'un duvet plus ou moins fin, lisse, brillant et soyeux, ont été à leur tour l'objet d'investigations et d'essais du même genre, qui n'ont pu avoir de suite, à cause du peu de longueur, de l'absence d'élasticité, et souvent de la légèreté extraordinaire de ces fibres duveteuses, qui se dispersent dans tous les sens au moindre souffle de vent, ou sous l'action de la plus petite agitation dans leur voisinage.

Nous pourrions multiplier l'énumération des végétaux à duvet, surtout si nous abordions les nombreuses plantes des régions tropicales, où le genre des malvacées, entre autres celui auquel appartient le cotonnier, donne tant d'espèces à filaments courts

et légers, et entre autres le bombax, que les naturels du pays n'ont pu faire servir jusqu'ici qu'aux objets de couchage.

Certains duvets végétaux de nos contrées, dont nous venons de parler, servent aux mêmes usages, dit-on, dans quelques localités du nord de l'Europe, et entre autres dans la Suède, la Norvége et la Russie.

Existe-t-il quelque autre végétal, fournisseur de duvets présentant l'ensemble des propriétés remarquables de celui du cotonnier? Serait-il possible, par une modification agricole, d'améliorer également les caractères des plantes à duvets qui n'ont pu être employées jusqu'à présent?

Parviendra-t-on, par quelque heureuse invention, soit à épurer économiquement ceux des duvets qui dès à présent pourraient du moins devenir un auxiliaire des substances employées au feutrage, soit à créer des machines permettant de filer et de tisser les filaments duveteux actuellement rebelles à ce travail?

Ce n'est pas de la solution de ces diverses questions que la plupart des chercheurs paraissent espérer le succédané du coton, et nous pensons comme eux; aussi semblent-ils vouloir tourner la difficulté en transformant les organes de la respiration et de la nutrition des plantes les plus répandues en une cellulose pure, à laquelle ils supposent des propriétés textiles analogues ou équivalentes à celles du coton.

Cotonisation des filasses en général.

La prétention de tirer des tiges, des feuilles et des écorces d'une foule de plantes une espèce de filament susceptible d'être transformé comme le coton et de pouvoir donner les mêmes résultats, est loin d'être nouvelle. Olivier de Serres n'est pas le seul qui ait songé à la possibilité de tirer une matière propre à faire du beau linge des fibres de l'écorce du mûrier.

Des voyageurs, et entre autres Forster, parlent de l'emploi des libers de l'écorce du mûrier, de l'arbre à pain et du figuier, par les naturels des contrées qui produisent ces végétaux; mais les renseignements qu'ils donnent sur les modes d'extraction et de préparation de ces fibres prouvent qu'il s'agit plutôt de l'usage d'une espèce de filasse dans le genre de celle du lin, de l'ortie, de la guimauve, du houblon, etc., dont on a fait quelques appli-

cations, que d'un filament offrant de l'analogie avec le duvet du cotonnier, et pouvant être transformé par les mêmes moyens et destiné aux mêmes usages. Ce que l'on a nommé depuis les procédés de *cotonisation* a au contraire en vue la production d'une matière pouvant servir aux mêmes fins que le coton. Ces procédés avaient déjà été essayés dans le dernier siècle. Les *Transactions suédoises* de 1747, les *Essais* de lady Moira en 1775, du baron Meiding en 1777, etc., en témoignent. Berthollet, qui a repris cette idée il y a 60 ans, le dit lui-même en indiquant la manière d'opérer et les résultats qu'il a obtenus. Ce point de départ nous paraissant devoir offrir un double intérêt, celui qui s'attache au nom de l'auteur et aux circonstances actuelles, nous donnons dans son entier la note du célèbre chimiste.

NOTICE sur une méthode de donner au lin et au chanvre les apparences du coton par le C. Berthollet, extraite du *Journal de l'École polytechnique.*

Lorsque je m'occupais de l'application de l'acide muriatique oxygéné à l'art du blanchiment, je fis des épreuves sur la filasse, et j'en ai aussi parlé dans le tome I des *Éléments de teinture,* page 258. « J'ai « essayé de blanchir complétement de la filasse par la méthode que « j'emploie pour les fils; mais, quoique ses filaments doivent par là « perdre un peu de leur solidité, ils prennent cependant une si grande « disposition à se séparer et à se diviser, qu'ils seraient beaucoup plus « difficiles à filer, et qu'ils feraient un fil beaucoup moins solide. »

« Depuis lors, différents artistes se sont occupés, avec plus ou moins de succès, des moyens de tirer de la filasse une matière analogue au coton. Un Helvétien, le C. Clays, a même fait, depuis assez longtemps, un établissement dans lequel il exécute cette espèce de préparation. »

« J'ignore quels sont les procédés qui ont été employés jusqu'à présent; mais je suis parvenu, par le moyen de l'acide muriatique oxygéné, à obtenir une matière plus belle qu'aucune de celles dont la connaissance me soit parvenue. »

« Le procédé tout simple que je vais décrire a été exécuté dans un laboratoire de l'École polytechnique, par le C. Gay-Lussac, alors élève de cette école. »

« On coupe la filasse en fragments d'environ six centimètres de longueur; on la recouvre d'eau, dans laquelle on la laisse trois ou quatre jours; après cela, on lui fait subir une ébullition dans l'eau simple, on la lave avec soin, on la lessive, on la passe à l'acide muriatique oxygéné. Quatre immersions dans l'acide muriatique oxygéné et quatre

lessives suffisent ordinairement : on finit par la passer dans un bain d'eau chargée de deux centièmes d'acide sulfurique. Au sortir de ce bain tiède, dans lequel on l'a laissée près d'une demi-heure, on la lave avec beaucoup de soin, et on la plonge dans une eau chargée de savon; on l'étend ensuite, sans l'exprimer, sur des claies, et on la laisse sécher, sans cependant qu'elle parvienne à une trop forte dessiccation. Toutes ces opérations, depuis la première immersion jusqu'à la dessiccation, n'ont exigé que cinq ou six heures, lorsqu'on a agi sur de petites quantités. »

« La filasse ainsi préparée a été remise au C. Molard, qui a bien voulu se charger des opérations mécaniques : il a fait passer la filasse blanchie par un peigne, et ensuite par une carde. Il a éprouvé quelques difficultés à raison des nœuds qui étaient parsemés dans la filasse : mais ce savant mécanicien a bientôt surmonté cet inconvénient. J'ai présenté à la classe des sciences physiques et mathématiques de l'Institut, le 6 prairial an VIII, un échantillon de la matière préparée, qui égalait le coton par la blancheur et les autres qualités apparentes; cependant le C. Molard a reproché à la matière cotonneuse d'être trop courte. »

« Le C. Bawens a aussi mis en œuvre la matière cotonneuse préparée dans le laboratoire de l'école, au moyen de belles machines qu'il possède à sa manufacture de Chaillot. Il n'a pas rencontré de difficultés d'exécution; mais il a également trouvé les filaments trop courts, quoiqu'il en ait fait faire un fil très-fin et d'une consistance satisfaisante. »

« C'est donc l'inconvénient d'être réduit en filaments trop courts qu'il faut corriger dans la première préparation; et je crois qu'un moyen assuré de le faire est de ne pas achever le blanchiment, mais de s'arrêter à la troisième opération. S'il en faut quatre pour compléter le blanchiment, alors on l'achèverait sur les fils ou sur les tissus. »

« Dans l'opération du blanchiment, il faut éviter les lessives trop fortes; mais il faut les employer bouillantes. Nous nous sommes convaincu que tous les moyens qui diminuent l'odeur de l'acide muriatique oxygéné affaiblissent l'action, de sorte qu'il faut l'employer dans sa pureté, et ne chercher à se préserver de l'odeur que par la construction de l'appareil et par le mode de l'application, objets que l'usage a rendus faciles : il faut même l'employer dans un état de concentration, sinon l'on est obligé de multiplier beaucoup plus les opérations. »

« On a terminé le procédé par une immersion dans l'eau chargée de savon, qu'on n'a pas exprimée, pour que les filaments ne contractassent pas trop d'adhésion par la dessiccation, et cédassent facilement à la séparation qui devait être opérée par la carde. Mais il y a apparence qu'en prévenant une trop forte dessiccation, cet inconvénient, qu'on a éprouvé dans le premier essai, n'aura pas lieu, et qu'alors on pourrait supprimer cette immersion. »

« Il est remarquable que, soit qu'on emploie le plus beau lin ou la grossière étoupe de chanvre, on parvient à des filaments égaux pour la finesse et la blancheur. »

« Cette indication suffira aux artistes assez habitués aux manipulations chimiques pour les guider dans le blanchiment. Mais je n'ai rien à dire sur les dispositions mécaniques du cardage et de la filature, parce que ce n'est pas moi qui les ai exécutées. »

« Si je ne me fais pas illusion, cette application du procédé déjà ancien peut offrir de grands avantages, puisqu'elle peut changer la filature qui, jusqu'à présent, exige le rouet, en celle beaucoup moins dispendieuse qui s'exécute par le moyen des machines, et qu'elle peut convertir un produit grossier de notre agriculture, même des rebuts, tels que ceux des corderies, en une substance précieuse pour les arts. C'est ce motif qui m'a déterminé à insérer cette notice dans le journal d'un établissement particulièrement consacré à l'utilité publique, quoiqu'elle ne présente rien de nouveau comme objet scientifique. »

Cette note confirme ce que nous disions précédemment sur les essais tentés bien avant ce siècle sur la transformation des filasses et des déchets de filasse de toute espèce en une matière filamenteuse beaucoup plus divisée et plus blanche que celle qui la fournit; mais la matière ainsi préparée est loin de présenter les caractères du coton; si elle est également blanche, sa masse manque d'homogénéité, et ses fibres varient considérablement de longueur et même de finesse. Ces inégalités, jointes aux nœuds, signalés par M. Molard au célèbre chimiste, ont toujours été les défauts de ces sortes de produits, dont les déchets aux préparations, ajoutés aux frais de manipulation, ont presque toujours élevé le prix de ces matières à celui du coton ordinaire dans les circonstances normales, quoiqu'elles soient loin d'être aussi propres à la fabrication des fils et des tissus.

Le *flax-cotton*, qui a fait tant de bruit il y a une douzaine d'années, était à son tour une cellulose extraite des végétaux, et entre autres du chanvre et du lin, au moyen de divers alcalis dont les dissolutions servaient à chaud ou à froid, suivant que l'on avait besoin d'activer plus ou moins le traitement. Ce résultat n'était pas plus à l'abri de reproche que celui obtenu par Berthollet; les défauts du produit et les inconvénients du procédé étaient de même nature que ceux que nous venons de signaler.

Reprise du traitement de l'écorce du mûrier.

Ces insuccès et les recherches continuant, on eut l'idée de reprendre bien des fois l'écorce du mûrier, signalée et traitée au seizième siècle, pour en tirer une matière filamenteuse. Bien des brevets ont été pris récemment dans ce but en France et en Italie. L'un de ces brevets, demandé en 1855, débute en disant : « L'écorce du mûrier renferme une quantité de matière textile, « dont les inventeurs ne croient pas qu'on ait jamais signalé ni « l'existence, ni la nature, et que dans tous les cas on n'était pas « parvenu à isoler complétement. »

La base du traitement proposé par les inventeurs est encore l'emploi successif de lessives alcalines caustiques, de bains de chlore et d'acide chlorhydrique. D'après une méthode progressive et graduée, on lave la substance à l'eau courante entre chacun de ces traitements.

Enfin les auteurs ajoutent que les fibres du mûrier ainsi obtenues jouissent de la propriété de feutrer aussi bien et mieux que les poils et autres matières employées dans la chapellerie.

LE FIBRILIA.

Il a paru tout récemment, en 1861, une brochure ayant pour titre : *Le fibrilia, substitut pratique et économique du coton*, comprenant, dit encore le titre, *la description complète du procédé de* COTONISATION *du lin, du chanvre, du jute, de l'herbe de Chine, et des autres fibres de même nature*, traduit de l'américain par M. Hippolyte VATTEMARE. Cette brochure fut envoyée à la plupart des gouvernements européens, à l'Académie des sciences et à diverses sociétés scientifiques et industrielles.

En outre de la spécification de la patente américaine de *Jonathan Knoweles*, l'inventeur du procédé de cotonisation, objet de la brochure, elle contient l'histoire naturelle du lin, des considérations sur sa culture en vue de la fabrication du fibrilia, des observations sur le rouissage, la description du procédé Claussen sur le blanchiment, la teinture, etc.

Nous ne nous arrêterons un instant qu'au procédé de l'inventeur, résumé par lui-même dans les termes suivants :

« L'invention que je réclame est la méthode ci-dessus décrite,

« ayant pour objet la préparation de la fibre végétale pour l'é-
« pluchage, le cardage, le filage et le tissage, par les moyens
« mécaniques actuellement employés pour accomplir les opéra-
« tions correspondantes sur le coton et la laine :

« 1° En immergeant ou faisant bouillir la fibre dans une solu-
« tion alcaline ;

« 2° En la lavant dans l'eau ;

« 3° En l'immergeant dans un mélange de chlorine de sels,
« afin de la blanchir et de la diviser simultanément;

« 4° En la lavant dans l'eau et en la séchant, ainsi que je l'ai
« expliqué ci-dessus. »

Ce résumé ne peut laisser aucun doute sur les termes de notre appréciation adressée à M. Vattemare, et insérée en tête de sa brochure. Nous répondîmes, en effet, à ses bienveillantes sollicitations d'ajouter quelques notes à son travail, « qu'il nous parais-« sait assez clair pour pouvoir se passer de tout commentaire. » En dire davantage dans le moment, comme nous l'avons fait vis-à-vis de l'administration supérieure, qui a bien voulu nous consulter, eût laissé supposer que nos appréciations étaient celles d'un *théoricien* dans la mauvaise acception du mot, ou d'un routinier d'après certains novateurs, dont on n'accepte pas les idées avec assez d'enthousiasme ou d'empressement. Sachant d'ailleurs que des expériences prochaines devaient être tentées, il nous a paru plus impartial d'en attendre les résultats.

Considérations générales sur les divers procédés de cotonisation, et sur leurs conséquences.

Nous n'avons pas à revenir sur l'analogie, pour ne pas dire l'identité, des divers moyens et méthodes pour extraire les filaments textiles purs des nombreuses plantes qui en contiennent. Toutes sont des applications plus ou moins intelligemment faites des connaissances de la chimie élémentaire, et par conséquent de l'action des diverses bases sur les végétaux, lorsque les acides interviennent, ce n'est que pour faire disparaître les traces des alcalis, et parfois aussi pour hâter ou augmenter la désagrégation et obtenir plus facilement la cellulose pure. Cette dernière action des acides, qui peut donner des résultats très-séduisants à l'œil, a presque toujours des inconvénients, car il suffit que les

fibres en retiennent une trace même assez faible pour n'être pas appréciable aux réactifs ordinaires, pour que sa présence *mine* les filaments après un séjour plus ou moins long, les rende friables, et les attaque de façon à leur faire perdre leur ténacité. C'est précisément cette propriété des acides qui les rend propres à faciliter la désagrégation; mais bien souvent on n'obtient cette finesse qu'au détriment de la solidité; les lavages très-abondants ne suffisent pas toujours pour éviter ce grave inconvénient. Reste donc, pour les industriels prudents, l'emploi des dissolutions alcalines chaudes ou froides et les lavages à l'eau pure, de façon à arriver aux fibres aussi divisées que possible de la cellulose, blanchie ou non : ce résultat pouvant toujours être obtenu par les moyens employés dans ce cas pour les substances végétales en général.

Mais cette cellulose, composée des organes ou débris d'organes végétaux dont les fonctions et le siége varient, non-seulement d'une plante à l'autre, d'un lieu au lieu voisin, mais encore dans la même plante, suivant la partie qui la fournit, qu'elle provienne de la racine ou du sommet, de vaisseaux qui charrient un liquide ou de spires ou canaux conducteurs de l'air, et des parties plus ou moins internes de la tige ou tube, il résulte de ces circonstances naturelles des inégalités relativement très-considérables dans les filaments de la masse hétérogène, et lorsque, pour amoindrir cet inconvénient si grave au point de vue du traitement mécanique, l'on étend les limites du traitement jusqu'à une divisibilité où ces différences semblent disparaître, on ne peut l'atteindre sans énerver la matière et la rendre friable. De là les défauts que nous avons pu constater dans les nombreuses substances de ce genre provenant d'origines diverses et obtenues par des expérimentateurs parfois très-habiles. Ces défauts se résument presque toujours dans l'irrégularité de la masse, l'inégalité considérable des longueurs, des finesses, non-seulement d'une fibre à l'autre, mais souvent pour la même fibre, et surtout dans l'absence de l'élasticité, si précieuse dans toute espèce de matière textile, qu'elle en forme, en quelque sorte, l'un des caractères fondamentaux.

Quelle différence entre une substance filamenteuse de ce genre et le coton même le plus mauvais et le plus difficile à traiter, le coton de l'Inde! La nature le fournit à peu près pur, toutes les

fibres d'une gousse ont la même fonction, chacune d'elles est un organe d'une constitution définie et inaltérable. La maturité met sa propriété particulièrement élastique en évidence, le tube dont chaque fibrille se compose se dilate et tend à se projeter au dehors de sa gousse en vertu de son ressort naturel; et si certains cotons, comme ceux dont nous venons de parler, offrent des difficultés aux transformations, il faut en grande partie les attribuer aux mauvais conditionnements de la récolte et des expéditions. L'humidité contenue dans les balles, les impuretés de toute espèce que contiennent les envois de l'Inde, ne peuvent certes être attribuées aux caractères intimes et à la constitution de la matière.

Il est néanmoins utile de dire que nous établissons des différences tranchées entre les diverses espèces de cotons, et entre les produits de même nature dont les prix varient dans les temps normaux de 2 à 12 fr. le kilogramme; et que nous ne mettons le tinevelly ou le surate, par exemple, sur la même ligne que le georgie longue-soie; nos observations ne portent que sur la constitution, les caractères et les propriétés de l'ensemble des variétés d'un même genre, afin d'en tirer les conséquences applicables au sujet qui nous occupe.

Jusqu'ici nous n'avons envisagé que les résultats indépendamment des conditions de production; nous avons parlé des ressemblances et des dissemblances entre les végétaux *cotonisés* et le coton, sans nous préoccuper de la possibilité d'une production importante et des conditions économiques de cette production. Envisagée sous ce point de vue, la question se complique singulièrement, si c'est le chanvre et le lin dont la production est insuffisante actuellement dans les contrées industriels où ils sont filés et tissés qu'il s'agit de métamorphoser en coton. En supposant, contrairement aux résultats obtenus dans le passé, un développement prompt de la culture, l'on se trouvera néanmoins en présence d'un produit brut aussi cher que le coton ordinaire, auquel il faudra ajouter les frais résultant de la cotonisation et des déchets qu'elle occasionne. L'on arriverait ainsi, après bien des difficultés, à un filament d'une qualité très-inférieure à celle du coton le plus commun, et d'un prix de revient probablement double.

Des objections analogues et peut-être plus sérieuses peuvent

être faites à l'emploi de la plupart des autres plantes proposées. Si quelques-unes sont sans emploi aujourd'hui, elles occasionneraient bientôt une dépense lorsqu'il faudrait les cultiver en masse pour des besoins courants, et ne présenteraient pas souvent, comme le chanvre et le lin, une première rémunération dans la récolte de leurs graines. L'on est frappé de ces faits lorsqu'on cherche à se rendre un compte positif des chances d'exploitation de toutes espèces de filaments de ce genre, la supériorité du coton se manifeste alors avec plus d'éclat, et l'on est particulièrement frappé des conditions économiques auxquelles il peut être produit dans les contrées de l'Orient qui lui paraissent les plus propres.

Est-ce à dire qu'il ne soit pas possible de tirer parti, au profit de l'industrie, d'un certain nombre de végétaux dont nous avons parlé, et qui ne sont pas encore utilisés d'une manière sérieuse dans les arts textiles? Nous sommes convaincu du contraire, et de la possibilité d'appliquer certaines de ces fibres à des usages spéciaux. Nous avons déjà indiqué l'utilisation du palmier nain; elle se développera certainement encore. Le sparte ou genêt d'Espagne, connu depuis longtemps et employé jusqu'ici à des applications presque insignifiantes, est à la veille de devenir, sur une échelle considérable, un objet particulièrement intéressant comme enveloppe des câbles pour la transmission des dépêches transatlantiques.

Il y a jusqu'aux nattes en roseaux exotiques, dont sont formés les sacs qui nous apportent le sucre et le café des colonies, que l'on cherche à détisser et à effilocher pour en former la base des matériaux de certains tapis communs.

Qui n'a admiré, à l'Exposition dernière de Londres, les magnifiques tissus et tentures unis et façonnés formés par des mélanges de fils de jute et de cocos? et ce n'est là qu'un emploi secondaire de cette dernière matière, dont nous avons déjà signalé l'importance industrielle acquise et atteinte avec une rapidité surprenante.

La fortune de ces diverses applications, dont les exemples pourraient être multipliés, tient précisément à l'entente judicieuse de leurs transformations et à leur appropriation convenable. Si au lieu d'avoir cherché des usages spéciaux, l'on avait tenté à les *cotoniser*, il est certain que leur rôle industriel eût été

aussi éphémère que celui des matières analogues auxquelles on a vainement cherché à donner la destination du coton.

Soies sauvages.

L'auxiliaire le plus inattendu du coton sera probablement l'une ou plusieurs sortes de soies inférieures, sous le rapport des apparences et du brillant, désignées sous les diverses dénominations de soies du ver de l'ailante, du ricin, du chêne, etc., confondues souvent dans le nom unique de soie sauvage, à cause de la nature rustique de l'insecte qui la produit en plein air, et de son aspect beaucoup moins séduisant à l'œil que la soie du filament continu du bombyx.

Pour que les soies sauvages deviennent, nous ne dirons pas des substituts, mais des additions au coton, et puissent être employées comme lin dans une foule de cas, et même parfois avec un plus grand avantage, parce que certains de ses fils simples pourront être substitués aux fils doublés et retordues du coton, il faudra que les prix de ces soies ne dépassent pas sensiblement ceux du bon coton. C'est là un point que les producteurs des fils du cocon de l'ailante ou autres soies analogues ne doivent pas perdre de vue. Or, en supposant que les moyens de dévidage des cocons deviennent tout à fait pratiques, il n'est guère possible de coter la dépense de cette transformation au-dessous de celle du dévidage des cocons ordinaires, ou à environ 7 à 8 fr. du kilogramme de grége produit; supposons qu'elle n'atteigne que 5 fr., auxquels il faudrait ajouter le prix de la matière première, on arriverait à très-peu près à celui des plus beaux cotons les moins rares, et dont la consommation est assez limitée.

Pour que ces soies nouvelles viennent en aide à la grande consommation du coton, il ne faut songer qu'aux cocons transformés directement en bourre destinée à être peignée, ou au *frison*, déchet des cocons au dévidage, et réserver la grége ou fil continu des cocons sauvages à certaines destinations qui peuvent employer des matières plus élevées. Si cependant on parvenait à faire pour ces soies dévidées des titres aussi fins que ceux des gréges ordinaires, comme elles sont très-solides elles pourraient être employées extrêmement fines, la longueur fournie au kilo-

gramme pourrait compenser, dans ce cas, l'élévation du prix de la transformation.

Le plus sûr substitut du coton des États-Unis est le coton des autres contrées.

Mais, en attendant les services des divers auxiliaires dont il vient d'être question, il faut chercher le vrai substitut du coton des États-Unis dans les autres contrées qui le produisent déjà sur une vaste échelle relativement, et dont la culture serait bien plus étendue encore sans la concurrence écrasante faite à l'univers entier par les États-Unis depuis une soixantaine d'années. L'on était loin de pouvoir prédire le développement de cette concurrence il y a un peu plus d'un siècle vers la fin du dernier. Il faut donc revenir aujourd'hui aux contrées qui à cette époque étaient citées en première ligne comme les pourvoyeuses du monde, et entre autres à l'Inde, au Levant et aux colonies. Il est triste de voir ce que sont devenues les colonies françaises, si florissantes alors sous ce rapport.

Il n'est pas sans intérêt de constater quel était l'état du commerce du coton, et les principaux lieux de production d'alors. Ces renseignements sont fournis par le *Dictionnaire de commerce* de J. Savary des Brulons, publié en 1748. Nous en extrayons par conséquent les passages suivants :

« Il vient à Marseille jusqu'à trente espèces de cotons. Le coton en laine se tire d'ordinaire de Saint-Jean-d'Acre, de Chypre, de Smyrne, etc. On en peut tirer de Smyrne, année commune, mille balles, quoiqu'il s'en emploie pour le moins encore autant dans les manufactures du pays.

« On a remarqué que depuis 1698 jusqu'à la fin de 1702 le coton se vendait aux Antilles françaises 45 livres le cent, et seulement 30 à 35 en 1705; depuis ce temps-là il a varié plusieurs fois, mais n'a pu remonter à 45 livres.

« A peu près vers le même temps le coton se vendait à Nantes, à Bordeaux et à la Rochelle jusqu'à 115 livres le cent, qui certainement était un grand profit; il est vrai qu'il fallait en déduire le fret, les droits d'entrée, les avaries, la commission, l'emballage et la tare.

« En temps de paix le fret se paye à raison de 2 sols par livre pour la France. »

« *Le coton de Siam*. On nomme ainsi aux îles Antilles une sorte de coton soyeux dont la graine a été apportée de Siam. Ce coton est d'une finesse extraordinaire, en sorte qu'il passe même la soie pour la douceur, ce qui en rend le filage plus beau et plus facile; sa couleur naturelle est de la couleur café clair. On en fait des bas qui sont préférables aux bas de soie par leur éclat et leur beauté; ils s'y vendent jusqu'à 10, 12 et 15 écus la paire. Il s'en fabrique pourtant très-peu, à cause que cet ouvrage consomme beaucoup de temps. »

Suivent ensuite des renseignements sur les variétés et les prix des cotons vendus sur le marché d'Amsterdam, sur les droits des cotons en laine et sur les cotons filés à leur entrée en France. Les cotons filés de Damas étaient connus sous le nom de *coton d'once*, et celui de Jérusalem se vendait sous le nom de *bazacs*.

M. Quatremère Disjonval, dans un Mémoire couronné par l'Académie des sciences, le 21 avril 1784, disait : « Je ne parlerai « plus des cotonniers du royaume de Naples et de la Calabre, « puisque ce végétal paraît plutôt s'y anéantir peu à peu qu'y « mériter nos regards. C'est en Amérique qu'il faut passer pour « le voir se relever avec presque tous les avantages que nous lui « avons reconnus dans l'Inde; et j'avoue que c'est dans cette « partie du monde que je me complais vraiment à le considérer, « moins encore parce qu'il y est partout le fruit de la culture et « de l'art, que parce que c'est la France qui possède les plus « beaux cotonniers de l'Amérique, par la position de ses îles, « que ses ennemis mêmes seront toujours dans le cas d'être « ses tributaires pour cette marchandise précieuse?

..... « Ce sont les Espagnols qui possèdent les cotonniers les « plus méridionaux de l'Amérique, ceux du Brésil et de Maragnan. On trouve peu après, en remontant vers le nord, ceux « de Cayenne, colonie française qui existait à peine il y a vingt « ans et qui fournit à l'Europe les plus beaux cotons qu'elle « emploie. On trouve enfin, plus haut encore dans cette région, « ceux de Surinam, colonie hollandaise, qui en produit également une très-grande quantité. Ces trois possessions étant à « peu près à la même latitude que le Bengale, c'est la partie de « l'Amérique où le cotonnier se rapproche le plus du cotonnier « de l'Inde; mais il est annuel dans le nouveau continent et « vivace dans l'ancien.

..... « Quant au duvet contenu dans la silique, beaucoup plus « fine que celle des cotons de Turquie, elle l'est moins que celle « de Surate[1]. »

Les cotons de l'Inde et de notre colonie de Cayenne étaient par conséquent les plus estimés alors. Malheureusement ces cotons, surtout ceux des Indes orientales et des colonies anglaises, comme nous l'avons vu, sont aujourd'hui les moins estimés sur les marchés européens. Ont-ils dégénéré en qualité, ou celles des filaments des États-Unis se sont-elles perfectionnées depuis Quatremère-Disjonval? Les deux hypothèses nous paraissent exactes. Pendant que les Indiens apathiques, soumis aux misères d'un pays conquis, restaient au moins stationnaires dans la culture, les soins apportés aux récoltes, etc., les Américains ont au contraire progressé à pas de géant dans ces diverses directions. Que restera-t-il de cette prospérité, et quelles nations seront le plus promptement héritières de la clientèle cotonnière délaissée par les Américains? Malgré le temps perdu par les Anglais dans l'Inde, cette contrée viendra en première ligne pour combler le déficit cotonnier causé par la guerre fratricide des États-Unis.

Il est facile d'en juger par l'évaluation aussi approximative que possible des quantités que fournissent aujourd'hui les diverses présidences de l'Inde.

Bombay............	900 000 balles
Calcutta............	80 000
Madras	80 000
Tinevelly et Tuticorin.	120 000
Ensemble....	1 180 000 à 180^k = 212400000^k.

C'est environ un tiers de l'exportation moyenne des États-Unis dans les circonstances ordinaires.

Cette évaluation pour l'exportation dépasse de près du double celle des temps antérieurs à la crise américaine. Le partage entre la consommation intérieure de l'Inde et les exportations s'est naturellement modifié en vue des circonstances qui ont augmenté la valeur des cotons de ce pays.

1. Essai sur les caractères qui distinguent les cotons des diverses parties du monde. Paris, 1784.

Sur ses productions, l'Inde a en effet expédié en Angleterre les quantités suivantes :

Années	1855	64 108 000^{k}
—	1856	82 190 000
—	1857	113 993 000
—	1858	60 436 000
—	1859	87 579 000
—	1860	92 957 000
—	1861	168 045 000

Ce qui constitue une augmentation d'importation de 162 0/0 en sept ans, et de plus des 4/5, si l'on compare 1860 à 1861.

Malgré cet accroissement extraordinaire, le contingent du coton de l'Inde n'a pas représenté tout à fait 30 0/0 de la quantité totale consommée dans la même année par les manufactures anglaises. Cette consommation, malgré le ralentissement dans le travail, était encore de 572 000 000 kil. pour l'année 1861. La moyenne des prix du coton de Surate était de 152 fr. sur le marché de Bombay pendant le premier semestre de 1862, de 352 fr. les 100 kil. sur le marché du Havre, au mois d'août 1862, et de 4 fr. 50 en ce moment.

Les cotons de l'Inde, si l'on en excepte certaines espèces désignées sous le nom de *Dhollerah*, viennent malheureusement au dernier rang à peu près *ex æquo* avec les basses qualités des autres provenances. Quoique leurs caractères et qualités ne soient pas les mêmes, on pourrait néanmoins les désigner dans une classe à part, sous le nom de cotons *très-courtes soies*, fournis en même temps par le Levant, la Chine, etc. Quoique également courtes, la finesse de ces diverses espèces varie sensiblement; celle des cotons de l'Inde est parfois très-élevée, mais très-variable dans la masse, et explique les magnifiques produits que le travail à la main des indigènes peut en obtenir. Si leur substitution aux filaments les plus ordinaires des États-Unis offre tant de difficultés, c'est d'abord parce que le réglage des organes des machines à filer présente certaines difficultés pour diriger convenablement les fibres dont la longueur varie dans une même partie de 10 à 25 millimètres et jusqu'à 50 dans les Dhollerah, et de 1/30 à 1/100 de millimètre en grosseur; ensuite, à cause de l'état impur et mélangé dans lequel ces cotons arrivent sur les marchés de nos contrées, ils con-

tiennent encore une quantité notable de graines, de feuilles, et, ce qui est plus extraordinaire, une foule d'autres corps et de débris accidentels, tels que chiffons, ficelles, poussière, pierres, etc. De plus, les balles, extrêmement dures et condensées par la pression, sèches en apparence, laissent dégager une quantité d'humidité telle au déballage, qu'il est indispensable de procéder avant toute opération à un séchage préalable. Cette humidité anormale et constante provient sans doute de ce que le coton a été humecté, pour pouvoir le condenser davantage et le contenir sous les plus petits volumes, afin d'en faciliter le transport à dos, de l'intérieur des contrées aux ports d'embarquement. Quoi qu'il en soit, les cotons de l'Inde qui nous arrivent sous les noms de Surate, Bengale, Bombay et autres dénominations, telles que Tinevelly, Oomrawuttee, Broach, etc., sont loin d'être parfaitement classés ; on les emploie, faute de mieux, à des destinations courantes où l'on faisait naguère usage des cotons des États-Unis, et surtout du Louisiane bas.

La première conséquence, dans l'état actuel, de l'emploi des cotons de l'Inde, est un déchet préalable et moyen de 12 à 15 0/0 pour effectuer l'opération qui aurait dû être pratiquée sur les lieux de la récolte. Une fois ainsi débarrassé des impuretés, l'infériorité de ces cotons provient de leur nature et de ce qu'ils sont en général cultivés dans des sols et des expositions moins favorables qu'aux États-Unis et par des cultivateurs qui n'ont pas encore l'expérience de ceux d'Amérique.

Les climats où se cultive le coton dans l'Inde sont d'ailleurs très-variables, puisque les époques des semailles et des récoltes diffèrent sensiblement suivant les localités. Les *Broach*, *Dhollerah*, *Oomrawuttee*, etc., sont semés en juillet, après la détrempe des terres par les pluies et les moussons, et la récolte de ces sortes a lieu, suivant les saisons, à partir de décembre et janvier; elles arrivent alors à Bombay de janvier, février à juin, et le reste après la mousson de septembre à janvier. Les *Dharwar* et les *Compta* ne sont semés qu'en septembre et octobre, et ne sont expédiés qu'en petite quantité à Bombay avant la mousson (juin); le reste de la récolte ne vient ensuite à cette capitale que de septembre à février. Nous devons ces renseignements et ceux qui vont suivre, sur l'intéressante question de la production des cotons dans l'Inde, à la maison Siegfried et Ce, de Bombay. Il

en résulte que c'est la présidence de Bombay qui comprend le plus grand nombre de districts cotonniers. Ces districts sont :

Guzerati et *Kattiawar*	dont les cotons sont désignés sous les noms de	*Broach*, *Dhollerah*, etc.
Berar	—	*Oomrawuttee*.
Kandisch.	—	
Barsee.	—	
Dharwar.	—	*Sawgined Dharwar*[1], *Compta Vingola*.
Cutch.	—	
Scinde.	—	

L'ensemble de ces divers districts ont fourni près de 1 200 000 balles en 1861, et 1 350 000 balles en 1862. Les balles sont de 180 kil. On pense que la récolte de 1863, à cause des conditions atmosphériques défavorables, ne dépassera guère un million de balles.

Le quart de ces récoltes est en général consommé à l'intérieur, et les trois quarts restants, dirigés sur les ports. Mais l'élévation du prix amène la diminution à l'intérieur et une exportation qui a été pour 1862 de 960 900 balles, et probablement à 900 000 pour 1863. En outre des principales localités indiennes que nous venons d'indiquer, Bombay a reçu de Chine et du Japon 5 000 balles en 1862, et déjà 30 000 en 1863, et 20 à 25 000 balles de divers autres points.

Parmi les cotons provenant de graines indigènes, le *Broach* est considéré comme le meilleur en soie, et le *Jambooseer* est la sorte la plus estimée des Broach.

L'*Hingenhaut* vient ensuite; c'est la meilleure sorte des *Oomrawuttee*; la soie en est longue et très-fine, et le classement en est beau.

L'*Akote*, également du district de Bérar, est loin de valoir le précédent, mais il est meilleur que l'*Oomrawuttee*. Ces deux sortes, souvent mélangées, donnent une soie ordinaire.

Les *Kandish* et les *Barsee*, livrés en général pour des Oomrawuttee, sont courts et d'une qualité inférieure.

1. Ce coton est appelé Sawgined, parce qu'au lieu d'être épluché à l'indienne il l'est par le saw-gin américain.

La famille des Dhollerah est nombreuse; elle comprend : les *Bhownuggur*, les *Mowa*, *Verawul*, *Mangarol* et *Parebunder;* ils se composent en général d'une bonne soie ordinaire, moyenne et blanche [1].

Les *Cutch* ressemblent beaucoup au *Dhollerah* et sont vendus sous son nom.

Les *Compta* sont bons, leurs fibres tenaces et longues, mais un peu rudes et grossières, et manquent de soins dans leur classement.

Le *Vignola* est de la même nature que le précédent, mais il est plus net et un peu jaunâtre. Nous devons faire remarquer que ces indications ne sont que relatives et ne concernent que le classement des duvets de l'Inde, qui ont presque tous le défaut grave de l'irrégularité de volume des fibres de la masse, ainsi que l'indique le tableau de leur classement.

L'infériorité des cotons de l'Inde tient, comme nous l'avons déjà dit, à quelques causes principales : au climat, qu'il n'est pas possible d'améliorer, et aux soins apportés à la culture, à la récolte et aux classements. Ces dernières influences, ainsi que les difficultés de transport, s'amendent chaque jour; l'emploi sur les lieux mêmes de la récolte de machines à égrener et à épurer les fibres, de façon à ce qu'elles ne nécessitent plus qu'une espèce de désagrégation ou ouvrage pour être transformées ensuite à la carde, apportera une grande amélioration à ces cotons. Il ne restera donc plus qu'à étudier les modifications à apporter à certains organes des machines à préparer, permettant d'agir sur les filaments courts comme s'ils avaient plus de longueur, et de trier les longs pour les traiter comme à l'ordinaire, et alors les cotons de l'Inde seront à leur tour peut-être aussi recherchés qu'ils ont été dédaignés pendant longtemps par le travail automatique.

A ces ressources très-sérieuses qu'offrent, sous le rapport des quantités, les Indes anglaises, il faut ajouter celles de la Chine. Naguère encore elle en recevait elle-même de la presqu'île du

1. C'est dans ces variétés que nos observations nous ont démontré l'existence de fibres plus fines, plus longues et aussi élastiques que celles du meilleur Géorgie longue soie. Mais l'effet des brillantes qualités d'une certaine partie des fibres de cette variété est neutralisé par les caractères inférieurs des filaments de la masse à laquelle elles appartiennent.

Gange, et ses exportations directes sur nos marchés étaient nulles, tandis que les marchés de l'Angleterre ont reçu près de 8 millions de kilogrammes de cette destination en un semestre de 1862. Ces cotons, venant directement de Chang-Haï et de Ning-Po, ont été vendus 1 fr. 86 la première provenance et 1 fr. 93 la seconde.

Qui sait si d'ici quelques années la Chine n'aura pas contribué largement à combler le vide résultant de la crise cotonnière, comme elle est parvenue à le faire pour les soies, depuis qu'une épidémie frappe le bombyx des diverses contrées occidentales, si elle ne deviendra pas plus importante sous ce rapport que le Levant, comprenant Smyrne, Chypre, Salonique, la Turquie, produisant des fibres courtes, irrégulières de finesse, peu propres, et généralement employées aux produits les plus communs et surtout pour faire des mèches : les fabricant de cet article spécial paraissent avoir recherché ces sortes en tout temps à cause de leurs caractères inflammables très-prononcés.

L'Afrique, pendant longtemps sans importance dans le mouvement commercial, devient digne d'intérêt sous le rapport des qualités et des quantités produites par l'Égypte, et des caractères des filaments de notre colonie.

Lorsque les divers pays producteurs du coton, qui se sont laissé si longtemps primer par la concurrence des États-Unis, seront pourvus de capitaux et de bras que l'on cherche à leur fournir, le coton reviendra aux bras et aux capitaux de l'Europe, et la grande crise de l'industrie européenne aura au moins servi à rétablir un équilibre menacé depuis trop longtemps.

Que deviendra l'Algérie dans ce mouvement extraordinaire; l'Algérie, le Sénégal, le Gabon et autres localités africaines, dont la production, quoique restreinte, démontre cependant l'aptitude, et qui, au dire des hommes les plus compétents, sont susceptibles de produire les diverses variétés de coton à des prix rémunérateurs?

Faisons des vœux pour la réalisation loyale de certains projets dont il est question, et pour que la destinée de cette nouvelle colonisation soit plus heureuse, sous le rapport de la production du coton, que ne l'a été celle de nos établissements en Amérique.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR LA MACHINE A ÉGRENER LE COTON

DE M. FRANÇOIS DURAND.

Plusieurs machines à égrener le coton ont été proposées dans ces derniers temps, et la crise cotonnière, en développant la consommation des cotons de l'Inde, a imposé aux constructeurs des machines de ce genre de nouvelles et sérieuses difficultés à vaincre.

La graine de ce coton est beaucoup plus adhérente, et les filaments sont en outre si courts qu'il est difficile de les recueillir en totalité.

Plusieurs machines cependant effectuaient, à l'Exposition de Londres, ce travail, d'une manière remarquable, et la machine de M. Durand ne laisse, sous ce rapport, rien à désirer.

Cette machine ne se compose, à proprement parler, que de trois séries d'organes :

1° Une paire de rouleaux alimentaires;

2° Une paire de rouleaux égreneurs;

3° Une paire de rouleaux délivreurs.

Ces différentes pièces sont mobiles dans des coussinets, supportés, à postes fixes, par un bâti en fonte, formé de deux flasques verticales réunies par des entretoises.

Tous les rouleaux sont mis en mouvement, au moyen d'un certain nombre d'engrenages intermédiaires, par un même arbre moteur, portant une poulie folle, une poulie fixe, et un débréage. Les engrenages sont tellement disposés que la vitesse de

l'arbre moteur est accélérée dans le rapport de 1 à 4,80 pour les cylindres égreneurs, et dans le rapport de 1 à 4,27 et de 1 à 2,90 pour les deux cylindres délivreurs. Cette même vitesse est au contraire diminuée dans le rapport de 40 à 1 pour les deux cylindres alimentaires qui sont destinés à apporter la matière brute en prise avec les cylindres étireurs.

C'est cette combinaison de vitesses accélérées et ralenties qui fait l'efficacité de la machine de M. Durand.

Le coton est disposé sur un tablier en cuir, à l'avant de la machine, et ce tablier, qu'un manœuvre entretient toujours chargé, s'avance lentement avec ce chargement, de manière que les bouquets viennent, avec leurs graines, s'engager entre le cuir et le cylindre alimentaire supérieur, qui est recouvert d'un tube de caoutchouc de 4 millimètres environ d'épaisseur.

La matière ainsi engagée se trouve poussée contre les cylindres égreneurs, animés d'une grande vitesse rotative, et qui sont construits de manière à ne laisser passer entre eux que le coton épluché.

Le cylindre égreneur supérieur est simplement recouvert d'une feuille de parchemin engagée dans une rainure, et dont le remplacement est extrêmement facile.

Le cylindre inférieur, qui tourne avec la même vitesse, au contact de ce parchemin, est strié d'une rainure en hélice, à pas allongé et à bords presque tranchants. Lorsque les filaments de coton ont été pris dans ce laminoir, la graine se dépouille sur toute sa surface, sans qu'elle puisse être écrasée ni entraînée dans le mouvement général, par suite du trop petit diamètre de ces cylindres, de $0^m,020$ environ.

Derrière les cylindres égreneurs se trouvent les deux cylindres délivreurs, tous deux en fer poli, entre lesquels circule un second tablier en cuir, qui entraîne le coton, par sa surface inférieure, et le laisse tomber dans un compartiment séparé de celui des graines.

Le cylindre supérieur ayant, avec l'épaisseur du cuir, $0^m,036$ de diamètre, donne à ce cuir une vitesse un peu plus grande que celle de la circonférence des cylindres égreneurs, et plus grande aussi que celle du cylindre inférieur, de même diamètre, mais qui, en raison des engrenages intermédiaires, tourne avec moins de rapidité.

Le tablier sans fin pouvant entraîner avec lui quelques filaments, il a suffi de disposer, par-dessus, un simple rouleau en bois qui les retient au passage, et qu'il suffit de nettoyer de temps en temps.

Voici, pour plus d'exactitude, l'indication des dimensions des différents organes et de leurs vitesses de régime.

DÉSIGNATION DES ORGANES.	TOURS PAR 1'.	DIAMÈTRES.
Arbre moteur	270	»
Cylindre d'alimentation	67	0m.028
Cylindre égreneur	1296	0 .020
Cylindre délivreur supérieur	1153	0 .036
Cylindre délivreur inférieur	786	0 .036
Rouleau nettoyeur	»	0 .060

Tous ces rouleaux travaillent sur une longueur de vingt-deux centimètres; le constructeur n'a pu augmenter cette dimension sans faire perdre à ses cylindres égreneurs, dont le diamètre ne peut être agrandi, la rigidité nécessaire à leur bon fonctionnement.

On voit par la description qui précède que la machine est en réalité très-simple; elle diffère de la plupart de celles qui ont été employées jusqu'ici en ce qu'elle fonctionne avec une alimentation continue, et sans aucun mouvement alternatif. M. Durand lui-même avait eu recours à ces complications dans ses premiers essais; mais, dans son état actuel, sa machine semble être arrivée au plus grand état de simplicité que l'on puisse désirer.

Elle est petite, d'une installation facile; les mèches qu'elle délivre sont bien nettoyées et offrent une belle apparence soyeuse; il était donc intéressant de déterminer d'une manière approximative ce qu'elle dépense comme travail moteur et ce qu'elle produit.

C'est dans ce but que nous l'avons soumise à une suite d'essais dont les résultats sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau des expériences faites sur la machine à égrener le coton, de M. François Durand.

DATES des expériences.	NATURE DU COTON.	POIDS de la matière brute.	POIDS du coton préparé.	POIDS de la graine recueillie	TEMPS employé.	NOMBRE de tours de la machine.	NOMBRE de tours par 1'.	COTON préparé par heure.
14 juillet.	Longue soie.	5k.50	1k.32	4k.18	25'	7961t	319t	3k,17
14 juillet.	Courte soie.	5 .00	3 .00	2 .00	47	14529	307	3 .83
16 juillet.	Longue soie.	3 .70	0 .92	2 .78	28	6256	224	2 .00

Le coton longue soie venait d'Algérie; le coton courte soie avait déjà été nettoyé, et c'est ce qui explique le rendement très-considérable qu'il a donné par rapport au poids brut.

Nous n'aurons donc à comparer, pour rester dans les conditions normales, que les chiffres de la première et de la troisième expérience. La diminution dans la quantité produite s'explique par la différence de vitesse, et pour apprécier le produit de la machine fonctionnant à 270 tours par minute, il faudrait, d'une part, diminuer les 3k,17 de la première expérience dans le rapport de 270 à 319, ce qui donne $3,17 \times \frac{270}{319} = 2^k,68$, et d'autre part augmenter les 2,00 kil. de la troisième expérience dans le rapport de 224 à 270, ce qui donnerait $2,00 \times \frac{270}{224} = 2^k,41$.

Le chiffre moyen est 2,55, et l'on doit en conclure qu'en travaillant dans ses conditions de régime, la machine de M. Durand produirait par heure 2k,50 de coton égrené. Il résulte d'ailleurs des chiffres mêmes des expériences que le coton longue soie d'Algérie ne donne que 0,25 de son poids de filaments. Ces deux kilogrammes et demi proviendraient donc de 10 kilogrammes de coton brut, et c'est cette dernière quantité que la machine pourrait égrener pendant une heure de travail.

La machine de M. Durand peut fonctionner à bras d'homme, mais avec une vitesse beaucoup moindre que celle que nous venons d'indiquer. Pour apprécier, dans les conditions de nos

expériences, la quantité de travail qu'elle consomme, nous l'avons mise en mouvement par une machine à vapeur, avec interposition d'un dynamomètre de rotation, qui nous a permis de mesurer l'effort transmis. Sept diagrammes ont été tracés, et, à l'exception d'un seul, ils ont tous fourni des chiffres très-concordants; voici ces chiffres :

Résultats des expériences dynamométriques faites sur la machine à égrener le coton, de M. Durand.

DATES des expériences.	NUMÉROS des expériences	NATURE du COTON.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	EFFORTS correspondants.	TRAVAIL par chaque tour du dynamomètre	TRAVAIL par tour de la machine.
			mm.	km.	km.	km
14 juillet.	1	Courte soie.	9.60	8.03	17.66	6.79
Id.	2	Id.	9.93	8.30	18.26	7.02
Id.	3	Id.	9.75	8.15	17.93	6.90
Id.	4	Id.	9.01	7.53	15.56	6.37
16 juillet	5	Longue soie.	8.76	7.32	16.10	6.19
Id.	6	Id.	13.44	11.24	24.72	9.51
Id.	7	Id.	9.18	7.67	16.87	6.49
			Moyenne...............			7.04
16 juillet.	8	A vide.....	7.73	6.46	14.21	5.47

La flexion des lames employées étant de 1 millimètre pour un effort de $0^k,836$, on a obtenu les chiffres de la *quatrième* colonne en multipliant ceux de la *troisième* par ce coefficient.

La poulie du dynamomètre avait un diamètre de $0^m,70$; le chemin parcouru à chaque tour par l'effort moteur étant donc mesuré par le produit $\pi \times 0,70 = 2^m,20$, et ce facteur nous a fourni la mesure du travail par tour qui est indiqué, pour chacune des observations, dans la *sixième* colonne du tableau.

Deux compteurs de tours avaient été placés, l'un sur l'arbre du dynamomètre, l'autre sur l'arbre moteur de la machine en expérience. Pour 8 842 tours du premier, celui-ci en indiquait 22 985, et le rapport 2,60 entre ces deux nombres, rapport qui est d'ailleurs le même que celui des diamètres des poulies, nous indique que le travail calculé précédemment correspond à 2,60 tours de l'arbre moteur de la machine par minute. On a calculé

le travail par tour en divisant respectivement les chiffres de la colonne précédente par ce nombre 2,60.

En prenant la moyenne de tous les résultats, on trouve que le travail par tour de la machine s'est élevé, dans l'ensemble de toutes les expériences, à 7,04 kilogrammètres.

La résistance seule de la machine fonctionnant à vide entre pour la plus grande part dans cette dépense, puisque dans cette dernière circonstance le travail moteur est encore de 5,47 kilogrammètres ; ce dernier chiffre représente les 78 centièmes du travail de la machine chargée. On comprend en effet que le passage du coton, en si petite quantité, ne puisse faire varier beaucoup la résistance de la machine.

Pour connaître le travail consommé par la machine, à sa vitesse normale de 270 tours par minute, ou de 4,5 tours par seconde, il suffira de multiplier 7,04 par 4,5, ce qui donne 31,68 kilogrammètres. Ainsi la machine à égrener de M. Durand exige un travail de 31,68 kilogrammètres par seconde, pour produire par heure 2,50 kilogrammes de coton égrené, ou ce qui revient au même, pour enlever la graine de 10 kilogrammes de coton brut.

Un homme ordinaire, pouvant développer 6 kilogrammètres par seconde, on voit qu'il faudrait employer 5 hommes pour produire par heure 2,5 kilogrammes de coton égrené, soit 1 kil. pour deux hommes. Il y a déjà loin de ce résultat à ce que l'on obtient, dans les plantations, par le travail à la main.

En résumé, la nouvelle machine de M. Durand est intéressante en ce qu'elle opère d'une manière continue; elle est d'une construction simple; desservie par un manœuvre, et par une force motrice un peu inférieure à un demi-cheval, elle peut extraire par heure, de 10 kilogrammes de coton brut, les 2,5 kilogrammes de filaments égrenés qu'ils renferment.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 30 août 1863.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES SUR

LA MACHINE DU BATEAU *LA COMTESSE LUBA*

DE 120 CHEVAUX

CONSTRUITE PAR M. GACHE AINÉ, DE NANTES.

M. Gache aîné, constructeur à Nantes, a pris, en 1855, un brevet d'invention pour diverses dispositions applicables aux machines de mer, et parmi lesquelles on remarque spécialement l'emploi d'une double enveloppe à courant de vapeur, pour maintenir la température du piston plus constante, et celui d'un appareil tubulaire destiné au surchauffage de la vapeur à sa sortie du générateur, et avant son admission dans le cylindre.

Invités par le constructeur à étudier le fonctionnement de cette machine, nous nous sommes rendus, M. Lecœuvre et moi, à Saint-Nazaire, et nous en avons, dans la rade de ce port, suivi pendant près de cinq heures, la marche avec la plus grande attention.

Les résultats de nos observations nous ayant paru remarquables, j'ai pensé à leur donner place dans les *Annales du Conservatoire*, sous la même forme que les autres procès-verbaux d'expériences.

La machine de M. Gache est représentée planche XIX, figures 1 à 4.

Elle se compose de deux machines de Woolf, accouplées à un même arbre horizontal, par l'intermédiaire de bielles et de balanciers; les deux cylindres de chacune d'elles sont placés dans le prolongement l'un de l'autre, le petit cylindre au-dessous du grand.

La figure 1 représente la coupe transversale du bâtiment, par l'axe de l'un des cylindres.

La figure 2 est le plan du groupe des machines.

La figure 3 est une coupe transversale des générateurs.

La figure 4, une coupe des cylindres par un plan passant par la boîte de distribution.

On remarque particulièrement, dans ces dessins, la disposition des générateurs, celle des cylindres, et enfin celle des pistons chauffés.

Le générateur est formé d'une vaste enveloppe renfermant quatre foyers à grilles inclinées; les gaz de la combustion reviennent, comme à l'ordinaire, à l'avant de la chaudière, dans des tubes de retour de flamme; mais avant d'atteindre la cheminée, ils circulent autour d'un faisceau cylindrique de tubes parcourus par la vapeur; et c'est au moyen de cette disposition que M. Gache surchauffe sa vapeur ou plutôt qu'il aide à son séchage.

La largeur totale du générateur est de $4^{m}.10$; sa hauteur au milieu de $4^{m}.70$.

La surface de chauffe se calcule de la manière suivante :

4 foyers, ensemble.	$18^{mq}.876$
Côtés de la boîte à feu.	3 .984
Fond de la boîte à feu.	5 .760
Plaque à tubes de la boîte à feu	3 .563
258 tubes; $d = 0^{m}.080$; $D = 0^{m}.085$; $L = 2^{m}.22$	142 .649
Plaque à tubes de la boîte à fumée. . .	3 .428
Boîte à fumée.	5 .250
108 tubes du réchauffeur, $d = 0^{m}.035$; $D = 0^{m}.042$; $L = 3^{m}.10$.	36 .217
	$219^{mq}.727$

Ce générateur est représenté (fig. 3) en section transversale, et cette figure suffit, avec les indications qui précèdent, pour en faire comprendre les principales dispositions.

La vapeur se rend d'abord dans le petit cylindre (fig. 1 et 4) qui est à enveloppe, et au moment de l'échappement elle passe directement, au moyen du même tiroir, dans l'une des chambres du grand cylindre.

Une capacité, qui enveloppe entièrement le grand cylindre, est constamment mise en communication avec le générateur, et maintient les parois de ce cylindre à une température élevée;

c'est aussi dans cette capacité supplémentaire que vient aboutir, au moyen d'une tubulure, la gaîne du tuyau mobile, qui est en communication constante avec l'intérieur du grand piston, toujours rempli de vapeur à la même température.

On peut reprocher à cette disposition de comporter, entre le petit et le grand cylindre, un stuffing-box d'un abord difficile, mais, avec les garnitures métalliques employées par M. Gache, il ne paraît pas qu'elle ait présenté jusqu'ici de sérieux inconvénients.

La transmission est faite à l'arbre de l'hélice, ainsi qu'on peut le voir sur les figures 1 et 2, par l'intermédiaire du balancier B et de la bielle C, agissant, par la manivelle D, sur l'arbre secondaire E, relié à l'arbre principal O par les roues dentées M et N, qui doublent la vitesse de ce dernier arbre.

Le condenseur est placé à côté des cylindres et la pompe à air prend son mouvement, au moyen d'une tige spéciale, sur le bras du balancier qui commande la bielle. L'arbre O de l'hélice passe dans un fourreau ménagé dans les pièces de fonte qui forment tout à la fois le bâti de la machine et le condenseur.

Nos expériences ont été faites dans la rade de Saint-Nazaire, le 28 juin dernier, et nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici les chiffres principaux de nos observations, tels qu'ils ont été relevés pendant le fonctionnement de la machine.

Tableau des chiffres relevés dans les expériences faites sur le bateau Comtesse Luba, *le* 28 *juin* 1863.

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE de tours au compteur.	NOMBRE de tours par minute	PRESSIONS aux manomètres.	NUMÉROS des courbes et des cylindres.
11h.30m	1 sac.	842	35	at. 2.25	
11 .42	2 —	....	......	....	
11 .47	....	....	......	2.25	1. g. s.
11 .52	....	1581	35	....	
11 .55	3 —	....	......	....	
11 .57	4 —	....	......	....	
12 . 0	....	1846	......	2.20	
12 . 5	5 —	....	......	2.34	
12 .11	....	....	......	2.37	2. p.
12 .15	....	2400	......	2.37	

Suite *du Tableau des chiffres relevés.*

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE de tours au compteur.	NOMBRE de tours par minute	PRESSIONS aux manomètres.	NUMÉROS des courbes et des cylindres.
				at.	
$12^h.17^m$	6e sac.	....	36	....	
12 .23	7 —	....	......	2.47	3. g. s.
12 .30	....	2937	......	2.45	4. p.
12 .32	8 —	....	......	....	
12 .40	9 —	....	......	....	
12 .42	....	....	......	2.42	5. g. s.
12 .45	....	3501	......	2.42	
12 .48	10 —	....	......	2.48	6. p.
12 .55	11 —	....	......	....	
12 .57	....	....	......	2.50	7. g. s.
1 . 0	12 —	4079	38	2.49	
1 . 4	....	....	......	2.49	8. p.
1 .13	....	....	......	2.42	9. g. s.
1 .15	13 —	4626	......	2.40	
1 .20	....	....	......	2.34	10. p.
1 .23	14 —	....	......	....	
1 .30	15 —	5166	......	2.48	
1 .33	....	....	......	2.55	11. g. s.
1 .37	16 —	....	......	2.50	12. p.
1 .42	17 —	5727	......	2.45	
1 .45	....	....	......	....	
2 . 0	18 —	6286	......	2.57	13. g. s.
2 . 8	19 —	....	......	....	
2 .15	....	6837	......	2.35	
2 .16	20 —	....	......	....	14. p.
2 .24	21 —	....	......	....	
2 .30	....	7379	......	2.38	
2 .35	22 —	....	......	2.27	15. g. i.
2 .44	23 —	....	......	....	
2 .45	....	7914	36	2.48	
2 .54	24 —	....	......	....	
2 .55	....	....	......	2.70	16. g. i.
2 .58	....	....	......	2.68	17. p.
3 . 0	....	8476	......	2.62	
3 . 3	25 —	....	......	....	
3 . 9	26 —	....	......	....	
3 .15	....	9023	......	2.58	
3 .17	27 —	....	......	....	
3 .25	28 —	....	......	....	
3 .30	....	9525	......	2.60	
3 .35	29 —	....	......	....	
3 .45	....	10120	......	2.40	
3 .46	30 —	....	......	....	
4 . 0	....	10666	......	2.52	
4 .10	31 —	....	......	....	
4 .15	....	11210	......	2.35	
4 .20	....	11380	......	2.25	
$4^h.50^m$	31 sacs.	10538		2.43	17 courbes.

Le vide au condenseur a été vérifié assez fréquemment; il s'est maintenu, pour les deux machines, de 66 à 67 cent. de mercure.

L'expérience entière a duré $4^h.50'$ ou en fraction décimale $4^h.83$.

Le poids des 31 sacs de charbon, déduction faite d'un certain reste, a été de 1405.5 kilogr.

En divisant le nombre total des tours par 290 minutes, on trouve que le nombre de tours moyen par 1' est de 36.34.

La pression moyenne est de $2^{at}.43$, et celle qui correspond aux diagrammes, étant de $2^{at}.46$ en moyenne pour le petit cylindre, et de 2.47 pour le grand, on devra considérer ces diagrammes comme représentant, avec une exactitude suffisante, le travail moyen de la machine.

Dans l'indication de ces diagrammes, nous avons désigné par gi, la chambre supérieure du grand cylindre; par gs, la chambre inférieure; et par p, la chambre supérieure du petit cylindre; aucune courbe n'a pu être relevée sur la chambre inférieure.

Le combustible employé dans cet essai était de la houille de Cardiff, agglomérée à l'état de briquettes, pesant chacune 2 kilogrammes, et ayant les dimensions suivantes : longueur, $0^m.20$; largeur, $0^m.10$; hauteur, $0^m.10$. Ainsi préparé, ce combustible peut être emmagasiné sans perte de place, et il suffit au chauffeur de donner deux coups de hachette pour briser chaque briquette en trois fragments de dimension convenable. Ce charbon a donné très-peu d'escarbilles et de cendres, et il s'est parfaitement comporté pendant toute la durée des opérations; à la fin seulement les grilles se sont assez engorgées pour qu'il ait été nécessaire de les fourgonner.

Ces briquettes étaient pesées dans des sacs, avant leur introduction dans la chambre des chaudières, et l'on a noté avec soin le commencement de chaque consommation. On a ainsi brûlé 1405.50 kilogr. de combustible qui, répartis sur les 4.83 heures de l'expérience, conduisent à une consommation par heure de 291 kilogr.

L'évaluation de la puissance développée demandait, comme dans toutes les expériences de ce genre, beaucoup plus de précautions.

A cet effet, M. Gache avait fait établir, sur chacune des chambres des grands cylindres et sur la chambre supérieure des petits cylindres, des indicateurs spéciaux, qui pouvaient fonctionner

au moyen d'une transmission établie avec les tiges de piston. Ces indicateurs, du modèle de M. Garnier, étaient tous munis d'une échelle qui correspondait à une flexion de 30 millimètres par atmosphère, pour chacun des ressorts. Il nous suffira, par conséquent, de diviser par 30 la longueur en millimètres de chacune de nos ordonnées, pour avoir immédiatement la mesure de toutes les pressions, exprimées en atmosphères.

Les dispositions de la machine avaient permis de placer des robinets pour fixer ces indicateurs sur les deux chambres des grands cylindres et sur les chambres supérieures des deux petits; il sera nécessaire d'admettre, dans les calculs, que les conditions d'admission sont les mêmes dans les deux chambres de ces petits cylindres.

Le volume développé par les pistons des deux grands cylindres correspond à un rayon de $0^{m}.77$, et à une course de $0^{m}.70$, soit à un volume de $1^{mq}.8626 \times 0.70 = 1^{mc}.317858$; mais il est nécessaire de déduire de ce volume, dans chaque chambre, celui de la tige de piston qui la traverse.

Dans la chambre supérieure, cette tige a $0^{m}.11$ de diamètre, dans la chambre inférieure, $0^{m}.08$ seulement, et la réduction qui en est la conséquence porte le volume de

			m.c.
la chambre supérieure à.	1.8523	× 0.70 =	1.297261
et celui de la chambre inférieure à	1.8576	× 0.70 =	1.300340
Moyenne. . . .	1.8550	× 0.70 =	1.298801

Le rayon du petit cylindre est de $0^{m}.315$ et la course du piston de $0^{m}.70$, comme précédemment; le volume correspondant est de $0.3117 \times 0.70 = 0.218206$, et c'est précisément celui de la chambre inférieure, dans laquelle il n'existe pas de tige de piston.

La tige qui traverse la chambre supérieure a $0^{m}.08$ de diamètre, et par suite le volume correspondant se trouve réduit

			m.c.
à.	0.3066	× 0.70 =	0.214633
Moyenne.			0.216419

Après avoir fait les relevés des diagrammes, nous nous servirons de ces surfaces et de ces volumes moyens, pour apprécier le travail développé sur les pistons; mais nous pouvons remarquer dès à présent que la vapeur agit à pleine pression, pendant toute la course du piston du petit cylindre, et que le volume développé dans le grand cylindre est à celui du petit dans le

rapport de $\frac{1.298801}{0.216419} = 6$; la détente est ainsi utilisée jusqu'à six fois le volume de l'admission.

L'ordonnée moyenne des tracés obtenus sur le grand cylindre est de 10.60 millimètres, qui correspond à $0^{at}.3534$ ou à 3650 kilogr. par mètre carré.

Le travail moyen par coup de piston sera dès lors exprimé par $PV = 3650^k \times 1^{mc}.298801 = 4740.623$ kilogrammètres.

L'ordonnée moyenne des tracés obtenus sur le petit cylindre est de 44.92 millimètres, qui correspond à $1^{at}.497$ ou à 15460 kilogr. par mètre carré, ce qui porte le produit PV, pour ce cylindre, à $0^{mc}.216419 \times 15460^k = 3345.838$ kilogrammètres.

En additionnant ces deux quantités, on trouve un total de 8086.461 kilogrammètres par coup de piston, et pour les deux machines, un travail total de 16172.922.

La machine a fait en moyenne 36.34 tours par minute, et elle a développé, pendant chacun de ces tours, le double de cette quantité de travail; on aura donc l'évaluation du travail par seconde par l'expression

$$2 \times 16172.922 \times \frac{36.34}{60} = 1959.073 \text{ kilogrammètres.}$$

La machine a donc développé en moyenne un nombre de chevaux mesuré par

$$\frac{1959.073}{75} = 261.21 \text{ chevaux de 75 kilogrammètres}$$

développés sur le piston.

Nous arrivons ainsi à ce résultat remarquable, que la machine a consommé par heure 291 kilogr. de combustible, pour une puissance développée de 261.21 chevaux, soit seulement $1^k.114$ par force de cheval, développée sur le piston.

Ce résultat est d'ailleurs confirmé par quelques expériences antérieures, dont M. Gache a bien voulu nous communiquer tous les éléments, et il en résulterait que, tout en employant de l'eau de mer, et une pression qui ne dépasse pas 2.50 atmosphères, cette machine de bateau n'aurait pas consommé beaucoup plus que les meilleures machines fixes. Les consommations de 1.10 sont exceptionnelles pour ces dernières machines; mais il faut observer que la mesure du travail est alors donnée par

une expérience au frein, sous déduction des frottements et de toutes les autres résistances des différents organes. Dans l'expérience de M. Gache, au contraire, comme on est d'ailleurs obligé de le faire pour toutes les machines de bateaux, l'expérience au frein est impossible, et il faut rapporter la consommation au travail développé sur le piston.

Nous avons reconnu, dans plusieurs circonstances, que le travail au frein représente, dans les machines bien construites, de 80 à 85 p. 100 du travail mesuré à l'indicateur; si, pour plus de sécurité, nous appliquons le premier de ces chiffres, le travail réellement fourni sur l'arbre de l'hélice serait, pour la machine de M. Gache, de $261 \times 0.80 = 208.80$ chevaux, et la consommation par cheval et par heure s'élèverait à $1.114 : 0.80 = 1.39$, ce qui serait encore très-satisfaisant.

Les dispositions adoptées par M. Gache ont donc pour effet de réduire la consommation à un chiffre très-faible, et il serait important de savoir si ses moyens de surchauffage entrent, pour une grande part, dans les résultats.

Pour juger du degré de surchauffage, nous avons, à plusieurs reprises, vérifié la température dans la boîte à tiroir, avec un thermomètre bien gradué.

TEMPÉRATURES au TIROIR.	PRESSIONS au MANOMÈTRE.	PRESSION DE LA VAPEUR SATURÉE aux mêmes températures.
125°	2.49	2.294
125	2.50	2.294
125	2.38	2.294
124	2.38	2.225
129	2.65	2.592
128	2.62	2.515
124	2.50	2.225
Moyennes.....	2.50	2.35

Nous mettons en regard ces températures et les pressions manométriques observées aux mêmes moments; nous avons ajouté, pour servir à la comparaison, les pressions normales de la vapeur saturée, telles qu'elles ont été déterminées par M. Regnault pour les mêmes températures.

L'effet du surchauffage paraît donc avoir augmenté la pression, mais seulement dans le rapport de 2.35 à 2.50, ou de 1.06. Un pareil surchauffage est absolument sans inconvénient, et d'ailleurs la température au moment de l'admission n'ayant jamais atteint 130°, on a la certitude de s'être tenu constamment bien au-dessous de celle à laquelle fonctionnent la plupart des machines fixes. On s'est ainsi borné à un véritable séchage de la vapeur, et nous verrons que ce séchage a exercé une grande influence sur la régularité des pressions.

Sans doute la circulation de vapeur entretenue dans le piston apportait un grand obstacle aux pertes de pression que l'on constate dans la plupart des machines à vapeur; mais on doit attribuer cette circonstance favorable, dans la machine de M. Gache, à l'une et à l'autre de ces causes.

Nous avons du reste consigné, dans un tableau spécial, tous les chiffres relatifs à la pression observée aux manomètres, et à la pression d'admission, telle qu'elle a été calculée, pour les mêmes moments, au moyen de la mesure directe relevée au commencement de chaque diagramme.

PETIT CYLINDRE.

HEURES des observations.	NUMÉROS des courbes.	PRESSIONS au manomètre.	ORDONNÉES des diagrammes à l'admission.	PRESSIONS calculées d'après ces ordonnées.
12h 11m	2	2at37	33'	2at10
12.30	4	2.45	40	2.33
12.48	6	2.48	40	2.33
1. 4	8	2.49	43	2.43
1.20	10	2.34	36	2.20
1.37	12	2.50	40	2.33
2.16	14	2.36	38	2.27
2.58	17	2.68	46	2.53
	Moyennes.	2.46		2.34

Les pressions ne sont en moyenne réduites que de 2.46 à 2.34, ou à 0.95 de celles observées au manomètre; il est vrai que les pistons ne marchaient qu'à une vitesse moyenne de

$$2 \times 0.70 \times \frac{36.34}{60} = 0^{m}.848 \text{ par seconde,}$$

et que les orifices d'admission sont de grandes dimensions. Ils ont, pour les petits cylindres, 0m.036 sur 0.420, et leur section représente le vingtième de celle des cylindres.

La pression d'admission dans le grand cylindre est beaucoup moindre; elle équivaut à la moitié de celle qui est indiquée par le manomètre de la chaudière; mais on verra, par les chiffres qui suivent, qu'elle suit assez exactement les variations de cette dernière.

GRAND CYLINDRE.

HEURES des observations.	NUMÉROS des courbes.	PRESSIONS au générateur.	ORDONNÉES des diagrammes à l'admission.	PRESSIONS calculées d'après ces ordonnées.
11h45mm	1	2at27	0'	1h00
12.23	3	2.45	3	1.10
12.42	5	2.42	9	1.30
12.17	7	2.50	10	1.47
1.13	9	2.42	14	1.33
1.33	11	2.50	8	1.27
2.00	13	2.57	13	1.43
2.35	15	2.27	5	1.17
2.55	16	2.70	15	1.50
	Moyennes.	2.47		1.29

Le rapport moyen est de 0.52.

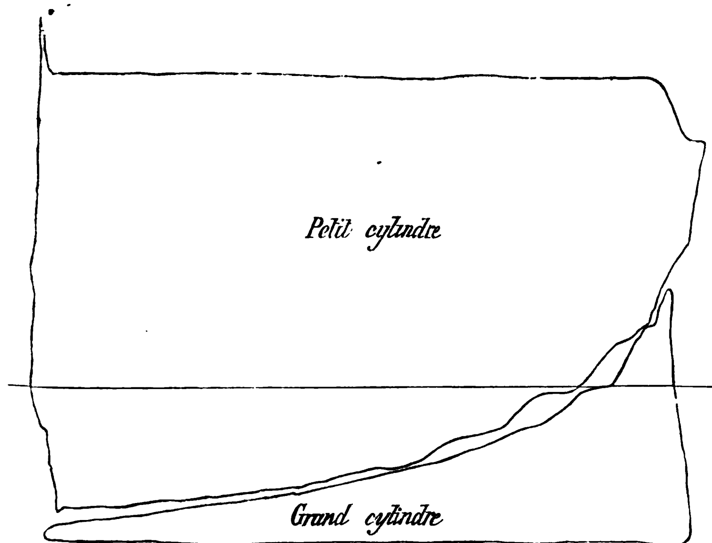
Dans l'appréciation de la valeur des ordonnées on s'est servi de la tare de 30 millimètres par atmosphère; mais les grandeurs de ces ordonnées étant comptées à partir de la ligne atmosphérique, il a fallu ajouter une atmosphère à tous les résultats.

On juge, en général, de la bonne construction d'une machine de Woolf en mettant en regard les diagrammes obtenus sur les deux cylindres, et en appréciant l'écart plus ou moins grand qui existe entre la ligne d'échappement dans le petit cylindre et la ligne d'admission dans le grand. Nous avons fait cette vérification pour les deux diagrammes 3 et 4, et pour les deux diagrammes 11 et 12, et l'on verra, par la copie que nous donnons des deux premiers, que la concordance est presque absolue; la perte de pression au passage des orifices qui conduisent du

petit au grand cylindre est à peine appréciable. Les orifices d'admission du grand cylindre avaient $0^m.050 \times 0.400 = 0^m.020$. ou seulement un quatre-vingt-dixième de la section transversale de ce cylindre.

Ajoutons en terminant que le navire a filé environ 10 nœuds pendant toute la durée de l'expérience; ce chiffre est celui qui a été déterminé par le loch.

M. Gache nous a communiqué depuis lors quelques résultats observés dans un nouveau voyage du bâtiment. La température



mieux observée dans la boîte à tiroir, serait élevée jusqu'à 160°. alors que le manomètre indiquait une pression de 2.50^{at}.

En résumé, la machine expérimentée a donné, comme machine de mer, des résultats extrêmement remarquables sous le rapport de la consommation du combustible. Réduite à $1^k.114$ par cheval de 75 kilogrammètres développé sur le piston, cette consommation démontre que l'emploi d'une circulation de vapeur dans le piston, et un séchage prudemment limité, peuvent exercer une notable influence sur les qualités d'une machine de ce genre.

DE LA CONSTITUTION MOLÉCULAIRE

DES CORPS

Compatible avec la théorie mécanique de la chaleur,

PAR M. CH. LABOULAYE.

IIe ARTICLE.

---

§ VII. — État solide.

Après avoir étudié l'état gazeux, dans lequel l'action des forces d'attraction moléculaire est à peu près nulle, nous étudierons l'état solide, dans lequel elles jouent un rôle prédominant et auquel elles donnent naissance en réunissant les molécules entre elles par la cohésion, caractère distinctif des corps solides. En effet, nous ne pouvons les manier, les soumettre à l'action de forces quelconques, sans remarquer aussitôt que leurs formes s'altèrent d'une manière sensible sous l'action de forces qui atteignent un certain degré d'intensité, variable pour chacun d'eux. L'analyse de ces déformations, la mesure des efforts qui les produisent, démontrent clairement l'existence de forces intermoléculaires.

Nous avons dit que les molécules matérielles ne se trouvaient en contact dans aucun corps solide, même dans ceux qui sont les plus durs. Cette porosité, cet écartement des molécules, se vérifie par un grand nombre de propriétés diverses : tantôt par le passage à travers le solide, d'un liquide, d'un gaz ; tantôt par la transparence qu'acquiert la substance réduite à une faible épaisseur. Mais c'est surtout la diminution de volume qui accompagne le refroidissement de tout corps, qui démontre le constant écartement des molécules des corps solides.

Élasticité statique des solides. — La résistance que tout corps solide oppose à une action de traction démontre, comme nous venons de le dire, l'existence de forces produisant la *cohésion* des molécules, effet de la cause à laquelle nous donnons le nom d'*attraction*, qui réunit, par leur action réciproque, les molécules de ces corps. La résistance à la compression indique de même

l'existence d'une force agissant en sens contraire de l'attraction et lui faisant équilibre.

Quand on soumet un prisme solide quelconque à un effort extérieur de traction ou de compression, et qu'on étudie les effets produits avec un appareil suffisamment délicat, on voit que les molécules dont il se compose s'écartent dans certaines directions, se rapprochent dans d'autres, et que le corps subit une déformation générale, qui dépend : d'une part, de la direction et de l'intensité de l'effort, de sa durée et du point auquel il est appliqué; d'autre part, de la figure extérieure de ce corps, du nombre, de la forme et de la disposition des points d'appui, etc. Les expériences que l'on possède à ce sujet, qui sont d'une précision assez grande pour pouvoir servir de base à des déductions théoriques, se rapportent surtout à quelques cas très-simples, tels que celui des corps cylindriques ou prismatiques, tirés ou refoulés dans le sens de leur axe. C'est celui dont nous allons nous occuper.

Notions sur la roideur et la résistance élastique des prismes. — Considérons une barre cylindrique ou prismatique de section A et de longueur L, composée d'une substance solide quelconque, mais parfaitement *homogène* dans toutes ses parties, et sollicitée à ses extrémités par une force P dirigée dans le sens de ses arêtes qu'elle tend à allonger de la quantité l; ou, ce qui revient à peu près au même, si L n'est pas très-grand et que le poids du prisme soit négligeable vis-à-vis de P, supposons une telle barre suspendue verticalement à un point fixe, et sollicitée à son extrémité inférieure par un poids P capable de l'allonger de la quantité l. Cela posé, soit que l'on considère cette barre comme divisée en autant de *fibres* ou de files distinctes de molécules équidistantes qu'il y a de ces molécules dans la section A; soit qu'on la suppose partagée en tranches infiniment minces et de la même épaisseur, sollicitées, à leur extrémité, par des efforts dont la somme est égale à P, et qui se distribuent uniformément sur chacun des éléments des sections de A correspondantes, on sera également conduit, par le raisonnement et l'expérience, à admettre :

1° Que la résistance de la barre est, pour chaque file de molécules, proportionnelle au nombre de celles contenues dans sa section, ou à l'aire A, somme des sections de la barre entière;

2° Que les allongements éprouvés par les différentes parties de la barre sont, pour une action exercée très-lentement, exactement proportionnels à leurs longueurs primitives; de sorte que l'allongement total de cette barre est lui-même proportionnel à cette longueur entière ;

3° Enfin que la résistance, la réaction élastique des molécules agissant comme de véritables ressorts, doit être mesurée par le rapport des charges aux allongements très-petits et proportionnels qui répondent aux premiers déplacements de ces molécules, en ne considérant que les charges telles que le corps reprenne exactement sa forme primitive, aussitôt que leur action a cessé, qui ne dépassent pas la *limite d'élasticité*, la limite à partir de laquelle, un allongement persistant, le corps reste déformé.

Nommant donc $i = \frac{l}{L}$ l'*allongement proportionnel* ou par mètre dont il s'agit, et qui est le même pour les divers éléments de la barre, R la résistance élastique pour l'unité de surface de sections, ou le mètre carré : la résistance élastique totale sera indifféremment exprimée par le produit $R \times A$, ou P étant la charge, par le rapport $\frac{P}{i} = P\frac{L}{l}$; de sorte qu'on aura la relation

$$\frac{P}{i} = R \times A, \quad \text{ou } P = RAi \text{ kilog.}$$

pour calculer la valeur de P capable de produire un allongement donné i par mètre, dans l'étendue pour laquelle cet allongement est proportionnel à la charge, ne produit pas de déformation.

Le nombre R, qui entre dans les formules précédentes et qui indique la résistance ou la réaction élastique d'une substance, est ce qu'on nomme le *coefficient d'élasticité*.

Pour en acquérir une notion plus précise, si l'on suppose l'aire A des sections transversales de la barre égale à l'unité superficielle, que l'on cherche le poids P' capable de faire $i = 1$, c'est-à-dire qui pourrait allonger la barre d'une quantité égale à sa propre longueur; si un pareil allongement était possible dans les conditions de proportionnalité admises ci-dessus, on aurait $P' = R$; c'est-à-dire *que le coefficient d'élasticité d'une substance homogène est le poids qui serait capable d'allonger une barre élastique*

de cette substance, ayant l'unité de surface pour section transversale, d'une quantité égale à sa longueur primitive.

J'essayerai de compléter cette définition, qui pour beaucoup d'esprits semble une simple convention, et de bien faire comprendre la valeur physique de ce nombre, qui représente *la résultante de la totalité des forces de cohésion qui agissent dans la direction de l'action mécanique exercée sur le corps.*

En effet, la barre élastique de longueur 1 pouvant être considérée comme un ressort parfait (dans les limites de l'élasticité), un poids K le comprimera de la quantité δ;

— 2K — — 2δ;

. . . .

— $\frac{1}{\delta}$K — — $\frac{1}{\delta}\,\delta$.

Or $\frac{1}{\delta}\,\delta$, c'est l'unité, $\frac{1}{\delta}$ K, le rapport du poids à l'allongement qu'il produit, c'est R ; donc ce coefficient est égal au poids produisant l'aplatissement complet du ressort à boudin de forme conique par lequel on peut remplacer pour un instant la barre élastique, et mesure bien la totalité du travail résistant, pour l'unité de longueur, que peut produire la force élastique de ce ressort suivant son axe. Chaque élément de cette résistance étant la cohésion qui réunit deux molécules, sa totalité représente la résultante de l'action des forces de cohésion.

Nous rapporterons ici les coefficients d'élasticité pour les principaux métaux, déterminés par un physicien qui a apporté à ces expériences la plus admirable précision, Wertheim. Nous citons des corps fondus pour la plupart, et qui satisfont le moins imparfaitement aux conditions d'homogénéité. (Ces valeurs de R se rapportent à une section d'un millimètre, et résultent d'observations directes d'allongement.)

	Coefficient R.
Plomb	1775
Étain	4172
Or	5584
Argent	7140
Zinc	9021
Platine	15683
Cuivre	10519
Fer	20794
Acier fondu	19561

En opérant sur des métaux ayant éprouvé diverses actions mécaniques, Wertheim a constaté d'une manière très-nette : *que toutes les circonstances qui augmentent la densité augmentent en même temps le coefficient d'élasticité, et réciproquement.* Il s'agit, bien entendu, d'actions non susceptibles de désagréger le corps, de produire des ruptures intérieures.

Du volume du corps étiré. — Du coefficient d'élasticité, de sa valeur virtuelle, en quelque sorte obtenue à l'état statique, il faut prendre garde de tirer des résultats erronés si on vient l'appliquer à l'état dynamique. Il y a alors à tenir compte d'un phénomène secondaire qui se produit lorsque la charge s'établit.

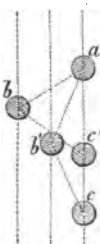


Fig 6.

En effet, nous avons admis implicitement que le corps soumis à une traction était formé de fibres ou files de molécules parallèles et équidistantes. En réalité il n'en est pas ainsi, et les réseaux ou losanges formés par les molécules, dont les côtés sont obliques par rapport à la direction générale de la traction, tendent à se resserrer dans un sens quand on les allonge dans l'autre, ce que montre la figure 6, où l'on voit comment, par une traction suivant ac, le demi-losange abc' formé par trois molécules, devient $a\,b'\,c$, la molécule b' se rapprochant de la diagonale verticale.

La longueur primitive L devenant $L + l$, ou $L(1 + i)$, si la section moyenne S diminue par suite de l'effet que je viens d'indiquer et devient égale à $S(1 - \alpha)$, on voit que le volume du prisme, au lieu d'être LS, deviendra $LS(1 + i)(1 - \alpha)$, ou, en négligeant un terme très-petit, $LS(1 + i - \alpha)$. On voit qu'à moins d'égalité entre i et α le volume varie avec l'allongement.

M. Wertheim, en expérimentant sur du caoutchouc, a trouvé une augmentation du volume ou $i - \alpha$ sensiblement égal au tiers de l'allongement i.

Observation. — Les expériences très-précises de M. Wertheim ont établi qu'une vraie limite d'élasticité n'existait pas, et que si l'on n'observe pas d'allongement permanent pour les premières charges, c'est qu'on ne les a pas laissées agir assez de temps, ou que la verge soumise à l'expérience est trop courte relativement au degré d'exactitude que peut donner l'instrument qui sert à mesurer. On doit en conclure que la conception des corps so-

lides comme formés de molécules en repos, qui est sous-entendue dans la théorie de l'élasticité statique, est en réalité insuffisante pour l'analyse complète des phénomènes.

Corps durs. — Toutes les expériences sur l'élasticité des solides se rapportent essentiellement, comme nous l'avons dit, aux corps homogènes; elles deviennent d'une grande difficulté lorsqu'il s'agit de corps non homogènes, dont les molécules sont groupées d'une manière non uniforme dans toutes les directions. Tels sont les corps cristallisés, dont l'élasticité n'est pas la même dans tous les sens.

La science est parvenue à atteindre indirectement les phénomènes d'élasticité dans ces corps, par leurs relations avec les vibrations qui produisent des sons variables avec leur direction par rapport à celle des axes des cristaux. Peut-être pourrait-on directement obtenir une notion qui aurait beaucoup d'intérêt, je veux parler de la mesure approchée du travail correspondant à la rupture des cohésions moléculaires, de celui nécessaire pour le réduire en poudre impalpable, pour pratiquer le broyage si usité dans les arts.

On sait fort bien qu'il faut des quantités de travail très-différentes pour pulvériser des substances de nature diverse; mais l'approximation que l'on pourrait déduire de fabrications industrielles serait tout à fait sans valeur. Ce n'est pas seulement parce qu'elle est grossière, mais parce qu'elle néglige un élément essentiel de la question; je veux parler de la quantité de travail qui est consommée à ébranler les supports du mortier dans lequel s'effectue le broyage. Ainsi, s'il s'agit d'un corps vitreux, tandis qu'il sera brisé par le moindre choc s'il est en porte à faux, s'il est soutenu seulement par ses extrémités, il pourra, au contraire, supporter des chocs nombreux sans être brisé, s'il est placé bien à plat au fond du mortier, et, par suite, le travail apparent auquel ils correspondront sera employé à tout autre chose qu'à vaincre les cohésions moléculaires du corps.

Il y aurait de curieuses expériences à faire avec des instruments de broyage plus perfectionnés, en adoptant des dispositions permettant d'évaluer le travail mécanique réellement employé au broyage. La comparaison de cette quantité fournirait pour quelques corps durs et cristallins, le soufre par exemple, un chiffre intéressant ayant, pour l'analyse de leur constitution

intime, une valeur analogue à celle des coefficients d'élasticité pour les corps malléables.

DES VIBRATIONS DANS LES SOLIDES.

Nous venons de parler des moyens d'apprécier la nature des forces moléculaires à l'état statique, étude qui montre l'insuffisance de ce point de vue. Il importe maintenant de considérer à l'état dynamique les effets des forces sur les solides.

Le caractère essentiel des solides, le résultat direct de leur formation par l'agrégation de molécules adhérentes, mais sans se toucher, par l'effet de leurs forces attractives équilibrées par une force répulsive dont nous allons indiquer la cause, la conséquence de leur élasticité, est que tout ébranlement produit en un point d'un solide se communique de proche en proche aux molécules successives sous forme de vibrations ; c'est ce qui se reconnaît aisément dans les applications des solides où cet effet est surtout recherché, par exemple dans l'emploi des cordes, des tables d'harmonie, etc., des instruments de musique.

En effet, une force ne peut agir un instant en un point d'un solide sans produire, par suite de son élasticité, un allongement ou une compression qui engendre l'instant suivant une réaction en sens contraire, par l'effet des forces qui agissent sur les molécules ; de telle sorte que l'action se propage de proche en proche dans le corps, c'est-à-dire que celui-ci entre en vibration et reste indéfiniment dans cet état si ses vibrations ne peuvent se communiquer aux corps voisins.

Une propriété essentielle des mouvements vibratoires, c'est que *l'état vibratoire d'un solide n'exige pas la consommation d'une quantité de travail considérable par cela seul que le nombre des vibrations pendant l'unité de temps est très-grand.* En effet, il ne faut pas confondre les nombres de vibrations, dont l'amplitude peut être extrêmement petite, avec des vitesses, puisque celles-ci sont égales au produit du nombre de vibrations par leur amplitude. Pour une action minime, un ressort élastique, une corde tendue, résistant et réagissant aussitôt, peuvent produire un grand nombre de vibrations par seconde, d'amplitude extrêmement petite, pour la consommation d'une très-petite quantité de travail.

C'est un résultat capital de l'étude des corps qui donnent des

vibrations sonores, que d'avoir établi d'une manière certaine que la grandeur de la force qui agit sur un corps élastique n'est nullement proportionnelle au nombre des vibrations par seconde; que celui-ci est déterminé par la nature et la forme du corps vibrant. Tous les instruments à cordes fournissent la démonstration la plus complète de cette proposition. Je citerai aussi la théorie du spiral réglant des chronomètres, qui, ainsi que l'a démontré M. Philips, oscille comme le pendule en un temps proportionnel à la racine carrée de sa longueur.

Vibrations transversales. — Ainsi lorsqu'une corde est mise en vibration par un archet mû par une force bien minime, elle vibre uniquement en raison de sa longueur; en la raccourcissant, on peut atteindre jusqu'à 73 000 vibrations par 1″, perceptibles à l'oreille.

La formule générale est $n = \sqrt{\frac{g\,P}{lp}}$ (P le poids tenseur, l la longueur de la corde, p son poids, n le nombre des vibrations). — L'expérience a indiqué que l'accroissement de rigidité de la substance de la corde produisait le même effet qu'un accroissement de poids tenseur.

Je rappellerai encore quelques faits d'expérience fort curieux qui montrent que même au point de vue des amplitudes du mouvement vibratoire, on risquerait de se tromper si, pour apprécier les effets dynamiques qui se passent dans l'intérieur des corps solides, on considérait la grandeur des forces qui les font naître comme égales à celles qui pourraient produire *statiquement* le même effet.

Vibrations longitudinales.— Savart ayant fixé dans un étau une verge de laiton de $1^m,4$ de longueur et 35^{mm} de diamètre, plaça vis-à-vis de son extrémité un sphéromètre qu'elle ne touchait pas à l'état de repos, mais qu'elle venait frapper à chaque oscillation, lorsqu'on avait mis la barre en vibration par un frottement longitudinal. Ces chocs s'entendaient encore quand la distance du sphéromètre était égale à $0^{mm},6$ et par conséquent l'amplitude des oscillations était au moins double de cette quantité. Il aurait fallu un poids de 1700 kil. pour produire cet allongement sans vitesse, tandis qu'il était engendré à l'état de vibration à l'aide d'une force tout à fait insignifiante.

Verges élastiques. — C'est surtout à des verges élastiques encastrées par une extrémité, que peuvent être assimilées les files de molécules d'un corps solide. La formule d'Euler, vérifiée par l'expérience, qui donne le nombre de vibrations, est $N = \frac{n^2 e}{l^2}\sqrt{\frac{gr}{\delta}}$.
N est ce nombre, e l'épaisseur de la verge dans le sens du mouvement, l sa longueur, δ sa densité, r sa rigidité, n une variable qui dépend du mode d'encastrement de la verge.

On voit que N augmente en raison de la rigidité élastique de la substance. Comme, dans tous les cas, N ne dépend nullement de l'intensité de la force qui détermine la vibration, celle-ci détermine l'étendue, mais nullement le nombre des oscillations ; nécessairement pour chacune le chemin parcouru est extrêmement petit, si le nombre est très-grand et la force motrice très-faible.

Sans vouloir empiéter sur d'autres questions, je ne puis m'empêcher de faire remarquer que la chaleur dans les corps étant considérée comme un mouvement vibratoire, l'accroissement du nombre de vibrations que tend à produire l'augmentation de rigidité rend bien compte du fait si obscur de la diminution de la chaleur spécifique des solides à mesure que leur dureté augmente : celle du charbon étant par exemple 0,241, celle du diamant est 0,147; et aussi comme la propriété des corps solides d'entrer facilement en vibration montre pourquoi les capacités d'un même corps à l'état solide et à l'état liquide, quand les molécules deviennent plus libres, sont moindres dans le premier état que dans le second : on sait que celle de l'eau étant 1, celle de la glace est 0,47.

Membranes, plaques. — L'étude expérimentale des corps solides conduit à établir, d'après les études des surfaces nodales formées sur des plaques des diverses substances, que tout corps solide peut vibrer à l'unisson d'un autre, et que ces vibrations peuvent être facilement transmises par celles d'un fluide élastique dans lequel ils sont plongés.

Toutefois, il y a de grandes différences d'un corps à un autre, au point de vue de la mise en vibration acoustique, de la facile division des plaques en parties vibrantes.

Du frottement entre corps solides. — Le frottement entre corps solides, cause de résistance dont les effets sont si multipliés,

doit être propre, comme les phénomènes sonores, à manifester la constitution de ces corps. Bien qu'ayant été l'objet de nombreuses recherches, les lois de frottement, auxquelles on est parvenu, n'ont pas été jusqu'ici rattachées à la physique moléculaire, à la constitution des solides. C'est pourtant ce qui me paraît facile.

Tandis que les résistances d'un corps solide se mouvant dans un fluide sont proportionnelles au carré de la vitesse, ce qui indique bien nettement que ces résistances consistent principalement en une communication de forces vives aux fluides mis en mouvement, au contraire le frottement entre corps solides est indépendant de la vitesse, ce qui ne se comprend guère avec la proposition habituellement formulée que la résistance du frottement est due à l'engrènement des aspérités des surfaces en contact. C'est bien évidemment par l'action de celles-ci que naît le frottement, mais si la résistance consistait dans l'arrachement des aspérités, elle ne serait certainement pas indépendante de la vitesse, du nombre d'aspérités arrachées.

Si, au contraire, on n'oublie pas la facile production des vibrations dans les corps solides, il sera naturel de considérer le frottement comme une vibration qui se propage dans l'intérieur du corps, ce qui est bien d'accord avec la loi indiquée ci-dessus. Alors, de même qu'une corde d'une certaine longueur rend toujours la même note, donne le même nombre de vibrations, quelle que soit la vitesse avec laquelle on la choque, de même, pour un corps de nature déterminée, le nombre des vibrations engendré par le frottement sera indépendant de la vitesse, comme l'a démontré l'expérience.

L'indépendance du frottement de l'étendue des surfaces en contact et sa proportionnalité avec la pression s'accordent également bien avec cette manière de concevoir le frottement.

S'il restait quelques difficultés à concevoir le travail consommé par le frottement comme répondant à une propagation de vibrations dans l'intérieur des corps solides, je citerais les cas où les vibrations devenant musicales sont aisément constatées. Dans certains instruments de musique, dans les expériences de physique à l'aide desquelles on détermine les surfaces nodales des plaques, on met celles-ci en vibration par le frottement d'un archet. Mais il y a plus : dans la plupart des cas de la pratique, lorsque

le frottement atteint une certaine intensité, lorsqu'on serre fortement les freins d'une voiture de chemin de fer, par exemple, les vibrations qui n'étaient pas d'abord perceptibles pour l'oreille, le deviennent; elles ne peuvent donc alors être contestées.

Si nous rappelons enfin que le frottement est une cause constante d'échauffement, ce qui précède fait comprendre comment il fait naître dans un corps solide des vibrations calorifiques.

CONSTITUTION DES CORPS SOLIDES.

En résumé, après être partis du fait évident de la cohésion des corps solides, de l'adhérence de leurs molécules par l'effet des forces d'attraction, tout ce qui précède nous conduit d'une manière certaine à cette conclusion, que les corps solides sont essentiellement des corps vibrants ; que leur principal caractère est d'entrer facilement en vibration, et que les diverses parties qui les composent ne peuvent jamais être en repos absolu les unes par rapport aux autres ; que leur repos n'est jamais que relatif, c'est-à-dire consiste dans un état déterminé qui ne change pas dans des circonstances données.

Quand les vibrations se rapportent à des masses des corps, on a celles qu'étudie la mécanique, l'acoustique lorsque les nombres de vibrations sont dans les limites qui répondent aux sons perceptibles à notre oreille. Pour les vibrations atomiques, pour celles qui se produisent dans les premiers éléments des corps, ce sont les phénomènes calorifiques qui nous les rendent sensibles, et la quantité de chaleur contenue dans le corps solide est précisément égale à la force vive possédée par les molécules animées du mouvement vibratoire.

C'est en raison de ce mouvement vibratoire que deux molécules adhérentes en vertu de l'attraction, demeurent écartées par l'effet de répulsion exercée par la force centrifuge qui naît dans leur vibration pendulaire, dans la petite trajectoire parcourue par le centre de gravité de l'une par rapport à l'autre. Cet élément combiné avec l'attraction nous rend donc parfaitement compte de la constitution des corps solides.

Nous allons trouver une confirmation de cette manière de la comprendre, en l'étudiant dans les circonstances les plus propres pour l'analyser, lorsque les atomes encore libres obéis-

sent uniquement aux forces normales qui agissent sur elles, au moment où le solide prend naissance.

Cristallisation des corps solides. — Les faits essentiellement propres à l'état solide et les plus capables de manifester le jeu des forces moléculaires qui les produisent, sont évidemment ceux qui se rapportent à la cristallisation.

On sait que lorsqu'un corps fondu passe à l'état solide, dans des conditions convenables, qui consistent surtout à le mettre à l'abri de toute agitation perturbatrice, il prend une forme cristalline qui lui est spéciale, qui est caractéristique de sa nature.

Le fait de la cristallisation sous une forme polyédrique prouve d'une manière générale la présence : de la force d'attraction qui vient faire naître les cohésions et la polarité propre aux premiers éléments des corps, qui intervient d'une manière spéciale dans chaque cas; l'action des forces moléculaires dominant celle des forces extérieures pour produire un arrangement déterminé des molécules. La variété et la constance des formes cristallines pour chaque corps montrent que le phénomène se produit entre des éléments d'une forme particulière, sous l'influence de forces déterminées.

Ce n'est qu'au point de vue des formes géométriques des cristaux que ceux-ci ont été étudiés, et bien qu'on n'ait pas encore envisagé la question au point de vue des forces moléculaires qui les produisent, nul doute qu'on ne doive un jour déduire des formes des cristaux, la nature et le mode d'action des forces qui agissent dans chaque cas sur les molécules qui leur obéissent librement.

De semblables recherches ne sont possibles que pour des cristallisations régulières, car les effets des forces moléculaires sont toujours plus ou moins cachés, dans la plupart des corps sur lesquels on peut opérer habituellement, par diverses causes, et surtout par des actions mécaniques, qui s'ajoutent aux perturbations qui ont empêché la disposition normale des molécules.

L'étude de l'élasticité dans les cristaux a été l'objet des derniers travaux de Savart, qui comprenait bien l'importance de l'étude des forces moléculaires. C'est ainsi qu'il a trouvé, par exemple, dans le cristal de roche, trois axes d'élasticité; qu'il a reconnu qu'il existait trois directions autour desquelles les élasticités sont

symétriques, ce que lui montrait la régularité des lignes nodales tracées par du sable sur des plaques minces convenablement taillées dans le cristal, lorsqu'on les met en vibration.

Comment se fait le groupement moléculaire qui détermine la formation des cristaux sur lesquels l'élasticité, variable dans diverses directions, donne un renseignement qui vient s'ajouter à la connaissance des diverses formes cristallines? Comment en passant de l'état liquide à l'état solide, les molécules se disposent-elles? On sait peu de chose à ce sujet, et dans l'impossibilité de suivre expérimentalement la production des phénomènes, il faut que des travaux quelque peu hypothétiques, comme ceux d'Ampère et de M. Gaudin, viennent fournir des systèmes dont la vérité sera démontrée, s'ils conduisent à des résultats conformes à l'ensemble des faits.

L'étude expérimentale des cristaux fait reconnaître l'existence de plans de clivage, c'est-à-dire la possibilité de détacher de la surface des cristaux des lamelles diminuant les dimensions du cristal primitif, mais conduisant toujours à obtenir un corps entièrement semblable au premier. L'existence de ces plans de moindre résistance, la possibilité de continuer à l'infini de semblables séparations, a fait admettre comme base certaine de la cristallographie, que la molécule cristalline élémentaire, le premier groupement d'atomes, a la même forme que le cristal définitif, que celui-ci était formé par le groupement de molécules semblables. Mais on n'était pas allé plus loin, et on ne s'était pas demandé pourquoi ces groupements d'atomes, effets d'actions mécaniques, laissaient ainsi subsister des parties de résistance moindre, d'où résultait leur mode de distribution dans le corps; quelles forces produisaient cet effet, agissaient sur les atomes eux-mêmes, en dehors de l'attraction qui ne peut guère expliquer que la cohésion en masse homogène?

Un fait quelquefois contesté, mais qui paraît avoir une part de vérité, pouvait indiquer la voie de l'explication probable. Une barre de fer fibreux employé à fabriquer un essieu de voiture, présentera souvent, s'il vient à se rompre, une cassure cristalline, c'est-à-dire que la structure aura changé sous l'influence des ébranlements nombreux auxquels il a été soumis, des vibrations qui s'y sont produites. (Le réchauffement et le refroidissement lent du fer laminé paraissent produire le même effet.)

Savart a constaté que des lames minces qu'il faisait vibrer se modifiaient avec le temps et que leur structure changeait pendant des années. C'est au reste un fait bien connu, que des instruments de musique neufs s'améliorent lorsqu'ils sont joués par d'habiles artistes, et qu'ils acquièrent des propriétés qu'ils ne possédaient pas auparavant.

L'influence des vibrations sur la structure des corps solides paraît donc certaine, et cependant il ne s'agit ici que des vibrations de masses de molécules maintenues par des forces de cohésion. Combien doit être plus grande l'influence des vibrations des premières molécules des corps, c'est-à-dire des forces vives calorifiques, au moment où le corps solide prend naissance, où s'opère le passage de l'état liquide à l'état solide? Il était réservé à un géomètre de notre époque, au savant M. Lamé, d'établir, par ses beaux travaux d'analyse, la théorie physique suivante de la formation des cristaux qui rend parfaitement compte de l'existence de surfaces de moindre résistance.

Il déduit de la forme périodique des formules de la propagation de la chaleur dans les cristaux, l'indication : *que toute dissolution saline concentrée se partage en concamérations polyédriques par l'effet des vibrations.* Il résume comme il suit la théorie physique à laquelle il se trouve ainsi conduit :

« Les lois de la propagation de la chaleur et celles des vibra-
« tions dans les cristaux solides peuvent être étendues au
« liquide salin concentré, qui dépose ces cristaux s'il se refroidit
« lentement, sans courant intérieur, et si les molécules ne se
« déplacent que pour osciller autour de leurs positions d'équi-
« libre. Dès l'abord, ce liquide se partage en concamérations
« concordantes, par des vibrations qui y naissent ou qui lui
« sont communiquées. Il en résulte des volumes élémentaires
« polyédriques qui se solidifient progressivement, se refroidis-
« sent et finissent par se déposer sur la masse cristallisée, à la-
« quelle chacun donne une de ses faces. »

Si l'on compare cette explication physique, ajoute le savant académicien avec une admirable force d'intuition, à toutes les idées qui ont été émises jusqu'ici sur le même sujet, on reconnaît d'abord qu'elle ne leur est pas inférieure comme moyen de coordination. Puis, en y réfléchissant, on trouve qu'elle est la seule qui puisse rendre compte, sans exception, de tous les phé-

nomènes physiques observés sur les cristaux naturels. Mais il y a plus : « quand on admet la réalité de cette théorie, on ne « comprend pas que les volumes élémentaires qui vibraient dans « le liquide cristallin cessent de vibrer quand ils font partie du « cristal formé. Et l'on se trouve sur une voie nouvelle, qui peut « conduire au véritable principe de la mécanique moléculaire. »

M. Lamé arrive donc, on le voit, aux principes que nous tentons de formuler. Comment comprendre, sans les vibrations, et le calorique de Lavoisier n'étant plus admis, que les molécules des corps solides ne viennent pas en contact par l'effet de l'attraction? Ce ne peut être que parce qu'elles vibrent, que les molécules élémentaires s'écartent, absolument comme une corde est plus longue quand elle vibre que quand elle est au repos.

Comme confirmant admirablement la théorie proposée par M. Lamé, je citerai les phénomènes de *dimorphisme*, c'est-à-dire de changement de forme cristalline d'un même corps lorsqu'il s'est solidifié à des températures différentes. Comment l'intervention de la chaleur peut-elle produire un si grand changement que de modifier la forme du cristal en faisant varier les vitesses des vibrations des molécules, si celles-ci n'avaient pas une influence dominante sur ces formes? Est-il besoin de rappeler encore l'intervention, si étrange en apparence, d'un petit cristal qui, projeté dans une solution saturée, détermine la cristallisation de la masse, ce que produit parfois aussi un simple ébranlement, c'est-à-dire toujours des moyens de faire naître les vibrations qui jouent, dans toutes les circonstances, un rôle évident dans les phénomènes de cristallisation?

Nous trouvons, il nous semble, dans tout ceci une précieuse confirmation des principes que nous avons tenté de formuler, et nous définirons les corps solides : *des corps composés de molécules maintenues par des forces d'attraction et vibrant en raison de leur température.*

§ VIII. — État liquide.

Doués de propriétés intermédiaires entre celles des corps gazeux et celles des corps solides, les liquides doivent avoir une constitution déterminée à la fois par les forces d'attraction qui agissent pour réunir les molécules des solides et par les forces impulsives qui font que les molécules gazeuses tendent à se ré-

pandre et à s'éloigner indéfiniment les unes des autres. Mais, avant de chercher à appliquer ces éléments à l'analyse de la constitution des liquides, commençons, comme nous l'avons fait pour les deux autres états de la matière, à résumer les faits généraux, la manière dont ils résistent aux actions mécaniques exercées sur eux.

Ce qui caractérise essentiellement les liquides, ce qui constitue la liquidité, c'est l'absence de résistance à la séparation de leurs diverses parties. Cette séparation, leur division a lieu aussitôt qu'ils sont libres d'obéir à l'action des forces qui agissent sur eux, par exemple à la pesanteur. C'est ainsi qu'ils s'écoulent lorsque les parois des vases qui les renferment viennent à disparaître en quelque point. Les liquides nous apparaissent donc comme formés de molécules qui ne forment pas une chaîne continue, comme celles des solides ; mais, tandis que leur séparation se produit avec la plus grande facilité, il est loin d'en être ainsi, même comparativement aux solides, de leur rapprochement. Tout au contraire, les liquides sont incompressibles ou presque incompressibles par l'action des forces les plus énergiques, ce qui indique une cause puissante de résistance entre les molécules, qui produit ces effets malgré les forces d'attraction qui tendent à les réunir.

Consultons d'abord les résultats d'expériences.

Résistance des liquides à la compression. — Les académiciens de Florence avaient conclu de leurs expériences l'incompressibilité absolue des liquides, et si les expériences des physiciens modernes ont constaté une diminution de volume proportionnellement à la pression, cette diminution est tellement minime, qu'il est permis de partir de l'incompressibilité pour analyser la constitution des liquides.

On reconnaît une propriété semblable dans les sables, souvent employés dans la pratique à cause de leur incompressibilité, dans les limites des pressions qui ne détruisent pas les petits corps élémentaires dont ils sont formés. Cet effet résulte évidemment de ce que ceux-ci reposent directement les uns sur les autres, de ce que les sables sont formés d'une multitude de petits corps distincts entre lesquels la pression se répartit, et l'analogie doit faire penser que la constitution des liquides a quelque

analogie avec celle-ci, qu'ils doivent être formés de systèmes indépendants en nombre infiniment grand, entre lesquels se partage la pression exercée en un point de leur surface qui se répartit dans toute la masse.

Je rapporterai ici les coefficients de compressibilité qui ont été déterminés avec le plus de soin. Voici les fractions de volume dont se compriment quelques liquides pour une pression de 1 atmosphère ou un poids de 10330 kilogr. par mètre carré.

Mercure.	0,00000295
Eau	0,0000503
Alcool.	0,0000828
Éther	0,00012

On voit que la compressibilité des liquides est bien minime, qu'elle est à peine appréciable, si ce n'est pour ceux facilement vaporisables, dont la constitution tend à s'éloigner par suite quelque peu de l'état liquide proprement dit.

Hydrostatique. — Toute la statique des liquides peut se déduire de leur incompressibilité. Ainsi le principe de l'égalité des pressions, duquel Pascal a tiré la théorie de la presse hydraulique, en résulte nécessairement.

Si un liquide renfermé dans un vase inextensible est pressé en un point par un piston mobile de surface A, avec une pression égale à P, toute partie de la surface égale à A sera soumise à la pression P, puisque, si elle devenait mobile, elle se mouvrait évidemment par l'effet de cette pression, le fluide incompressible ne pouvant rien détruire du travail moteur par action intérieure, mais seulement le transmettre. Ce qui est vrai pour une surface A l'est pour toute la surface du vase, et spécialement pour une surface d'étendue nA, comme le grand piston de la presse hydraulique qui donne une pression n fois plus grande que celle du petit, bien entendu avec une course n fois plus petite, puisqu'il n'y a que transmission et non création de travail.

La répartition des pressions, le principe d'Archimède, etc., sont des conséquences directes du principe d'incompressibilité, et nous n'avons pas à nous y arrêter, ne voulant ici que bien définir la nature des liquides, pour arriver à l'analyse de leur constitution intime.

Hydrodynamique. — La mobilité extrême des liquides, combi-

née avec l'absence de toute consommation de travail par action intérieure, résultant de l'incompressibilité, est de même la base de l'hydrodynamique.

La facilité avec laquelle les molécules s'écartent devant tout corps étranger, et notamment devant des parties du liquide même qui tombent, donne le principe de la théorie de l'écoulement des liquides pesants qui sortent par le fond d'un vase avec la vitesse même qu'ils auraient s'ils tombaient de la hauteur qui sépare la surface du liquide du fond du vase, par l'effet d'une pression due à la gravité, et précisément égale à son action. C'est le célèbre théorème de Torricelli, principe fondamental de toute cette théorie vérifiée par de nombreuses expériences.

La quantité de liquide d'une densité D, sortant d'un vase où son niveau est à une hauteur h, est pour un orifice de section ω, $d\omega V = D\omega\sqrt{2gh}$.

Mouvements orbitaires. — Je rappellerai ici une autre conséquence de la mobilité des fluides, dans un cas où elle n'est pas seule en jeu. Lorsqu'on jette une pierre dans l'eau, il se forme ce qu'on appelle un tourbillon, une circonférence d'eau en mouvement qui va en s'agrandissant de moins en moins rapidement; car, d'après les observations de Léonard de Vinci, la vitesse des différentes couches des tourbillons croît en raison inverse de la longueur du rayon correspondant. C'est le contraire de ce qui se passe dans une roue, dans laquelle les vitesses croissent proportionnellement à la distance au centre.

Lorsqu'après un moment la surface de l'eau est devenue tranquille, il ne faut pas croire que le liquide soit rentré en repos. D'où serait venue la consommation du travail qui avait engendré son mouvement. Celui-ci, bien que n'étant plus aussi apparent, persiste dans la masse. Les molécules agitées rencontrant d'autres molécules, il en résulte une infinité de petits tourbillons, de mouvements orbitaires analogues à ceux plus apparents qui se manifestent toutes les fois que de l'eau tombe d'une certaine hauteur ou qu'un cours d'eau rencontre un obstacle déposé dans un courant. La production des mouvements orbitaires qui s'engendrent si naturellement dans les liquides est le mode de dissimulation de la force vive dans les changements brusques de vitesse des fluides, comme les mouvements vibratoires sont celui de sa dis-

sémination dans les solides. Ces tourbillons, entraînés comme des corps étrangers par le fluide en mouvement, constituent le mode spécial d'emmagasinement de force vive. Ce grand fait de l'état dynamique des liquides, causé à la fois par leur mobilité et par une certaine adhérence mutuelle, nous paraît devoir conduire à l'analyse de la constitution des liquides, comme la facile production des vibrations à celle des solides. Bien qu'observés dans des masses sensibles, ce n'est qu'à cause de la nature intime des corps qu'ils prennent aisément naissance, et on doit présumer qu'ils se produisent de même dans les éléments moléculaires dont les forces vives sont calorifiques. C'est, on le voit, revenir par les résultats de l'expérience à la constitution des liquides à laquelle nous sommes arrivés *à priori*.

Conséquences de la mobilité moléculaire. — La mobilité extrême des molécules liquides, qui doit faire conclure leur mouvement incessant, entourées qu'elles sont d'éther en vibration, ne suffit pas à elle seule pour expliquer les propriétés des liquides, qui n'appartiendraient nullement à un amas de molécules sans action les unes sur les autres. Il est aisé de voir quel autre élément intervient. La seule communication d'une impulsion suffit pour rendre compte de l'état gazeux, l'attraction ne jouant alors qu'un rôle secondaire; mais quand par la compression le corps de gazeux devient liquide, quand la distance des molécules diminue, c'est la force d'attraction, que les corps solides nous prouvent si manifestement exister, qui vient s'exercer entre des molécules plus rapprochées. L'expérience permet de bien constater l'existence de cette force, qui entraîne, avec la mobilité, si nettement constatée à l'état gazeux dont procède l'état liquide, et où nous la voyons persister, la nécessité des mouvements orbitaires, des trajectoires elliptiques des molécules les unes par rapport aux autres, indépendamment sans doute de mouvements propres répondant à l'inertie de rotation. C'est ce qui arrive nécessairement pour un certain rapport entre la vitesse d'impulsion, la force d'attraction et l'écartement moléculaire; lorsqu'il est tel que l'on a : $v_0^2 < \frac{\mu}{r^0}$, comme nous l'avons vu précédemment.

Attraction des molécules des liquides. — Capillarité. — L'attraction mutuelle des molécules des liquides les unes pour les au-

tres se constate par des expériences directes; elle joue un rôle important dans nombre de phénomènes. Il n'en est pas de plus probant, à cet égard, que ceux de capillarité.

Ce point de vue avait vivement frappé Newton, qui, parlant des phénomènes capillaires dans la question XXXI, jointe à son Optique, les considère comme dérivant d'attractions qui s'étendent à si petites distances, qu'elles ont échappé jusqu'ici à nos observations.

« Si deux plaques de verre planes et polies, dit-il (supposons deux fragments d'un miroir bien poli), sont jointes ensemble, leurs côtés parallèles et à une très-petite distance l'une de l'autre; et que, par leurs extrémités inférieures, on les enfonce un peu dans un vase plein d'eau, l'eau montera entre les deux verres. Et à mesure que les deux plaques seront moins éloignées, l'eau s'élèvera à une plus grande hauteur. Si leur distance est environ la centième partie d'un pouce, l'eau montera à une hauteur d'environ un pouce; et si la hauteur est plus grande ou plus petite, en quelque proportion que ce soit, la hauteur sera à peu près réciproque de la distance. Car la force attractive des verres est la même, soit que la distance qu'il y a entre eux soit plus grande ou plus petite; et le poids de l'eau attiré en haut est le même si la hauteur de l'eau est en proportion réciproque à la distance des verres. C'est encore ainsi que l'eau monte entre deux plaques de marbre poli lorsque leurs côtés polis sont parallèles et à une fort petite distance l'un de l'autre. Et si l'on trempe dans l'eau le bout d'un tuyau de verre fort mince, l'eau montera dans le tuyau à une hauteur réciproque à la cavité du tuyau, et égale à la hauteur à laquelle elle monte entre deux plaques de verre, si le demi-diamètre de la cavité du tuyau est égal à la distance entre les plaques ou environ. Du reste, toutes ces expériences réussissent tout aussi bien dans le vide ou en plein air, et, par conséquent, elles ne dépendent en aucune manière du poids ou de la pression de l'atmosphère. »

On voit que Newton appréciait parfaitement tout l'intérêt qu'offraient les phénomènes capillaires comme démonstratifs de l'attraction moléculaire à petite distance des molécules des solides sur les molécules des liquides, et par suite de l'attraction de celles-ci, en vertu de l'égalité de l'action et de la réaction, mais n'a pas tenu assez compte de l'attraction mutuelle de ces

dernières, qui seule peut faire comprendre comment, quand le liquide est du mercure, il y a dépression au lieu d'élévation dans les tubes de verre capillaires.

Sans reprendre en détail la théorie des phénomènes capillaires exposée dans tous les traités de physique, je donnerai seulement ici l'analyse du cas principal pour montrer le mode de raisonnement que l'on emploie pour arriver à une théorie que vérifie l'expérience.

Soit un liquide s'élevant dans un tube capillaire jusqu'au niveau moyen AB, fig. 7, les parties du tube placées au-dessus de ce niveau concourront à l'action qui le soulèvera. Il en résultera une force verticale dont l'intensité sera évidemment proportionnelle au périmètre p de la section du tube; elle pourra généralement se représenter par $p\alpha$. Les parties du tube comprises entre AB et CD attireront le liquide qu'elles contiennent; mais, à cause de la symétrie, elles ne l'élèveront ni ne l'abaisseront. Enfin les molécules du tube placées au-dessus de CD agiront sur les parties du liquide placées au-dessous, dans le prolongement du canal, et les soulèveront avec une force qui sera encore $p\alpha$. Le tube sollicitera donc le liquide avec une force totale $2p\alpha$. Mais, d'un autre côté, on peut se figurer un tube liquide CDMN prolongeant le tube de verre, et les molécules contenues dans l'épaisseur de ce tube attireront celles qui renferment les parties supérieures du canal, avec une force $p\alpha'$. En définitive, $p\,(2\alpha - \alpha')$

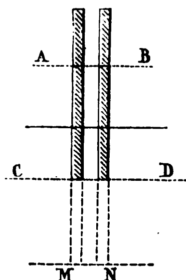
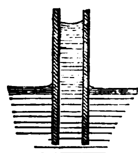
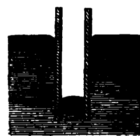


Fig. 7.


Fig. 8.


Fig. 9.

sera l'expression de la force qui soulèvera le liquide, et suivant que $2\alpha - \alpha'$ sera positif, nul ou négatif, il y aura élévation, niveau égal ou dépression.

Cette force est équilibrée par la colonne liquide soulevée ou abaissée, dont le poids est égal au produit de la section s du tube, par la hauteur h et la densité d du liquide, et l'on aura :

$$p(2\alpha - \alpha') = shd, \quad \text{ou} \quad h = \frac{p}{s}\frac{(2\alpha - \alpha')}{d} = \pm \frac{p}{s} a^2, \qquad (7)$$

en désignant par a^2 une constante spécifique.

C'est cette formule que l'on vérifie par expérience et qui s'applique fort bien aux divers cas qui peuvent se présenter.

Je rapporterai encore les si curieuses expériences de M. Plateau, qui montrent clairement les effets de l'attraction mutuelle des molécules liquides, lorsqu'elles sont entièrement libres, lorsque l'excipient n'étant pas mouillé par le liquide considéré, celui-ci obéit à ses seules forces intérieures, comme on le voit déjà pour le mercure, qui, placé sur une plaque de verre qu'il ne mouille pas, prend la forme d'une gouttelette arrondie, au lieu de s'y étaler en couche mince sous l'action de la gravité.

Nous ferons observer, en passant, que la capillarité offre un moyen d'évaluer l'attraction mutuelle des molécules des liquides par rapport à celles d'un liquide pris pour unité, l'eau par exemple. L'action α' du liquide sera en raison inverse des hauteurs h auxquelles s'élèveront les divers liquides dans un même tube pris pour unité, ayant par exemple 1 mill. de diamètre. L'action du tube sera toujours la même, celle du liquide seule variera.

Revenons aux expériences de M. Plateau.

La formule par laquelle Laplace est parvenu, en partant des principes exposés ci-dessus, à représenter la forme des ménisques qui terminent la surface capillaire est :

$$(8) \qquad \mathrm{B} = k^2\left(\frac{1}{\mathrm{R}} + \frac{1}{\mathrm{R}'}\right),$$

dans laquelle k^2 est un coefficient qui change avec les corps en présence, R et R′ les rayons de courbure principaux en chaque point, B la différence de pression qui cause la différence de hauteur du liquide en ce point.

Si un liquide n'était pas pesant, il prendrait un état d'équilibre uniquement déterminé par les actions moléculaires qu'il exerce sur lui-même, la pression serait constante dans toutes

ses parties, et l'on devrait avoir, quel que soit le point considéré de sa surface,

$$\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}=\text{constante}. \tag{9}$$

Pour réaliser ce cas d'un liquide sans pesanteur, M. Plateau compose avec de l'eau et de l'alcool un mélange en proportions telles, qu'il ait exactement la densité de l'huile, de façon que cette huile se maintienne en équilibre parfait et n'y soit soumise qu'aux seules actions moléculaires exercées sur elle par elle-même. Le milieu dans lequel elle nage sans se mêler avec lui, étant un liquide très-mobile, ne peut gêner le libre mouvement des molécules huileuses.

Pour faire l'expérience, on engage au milieu du liquide mélangé, placé dans un vase de verre, l'extrémité d'une pipette pleine d'huile qu'on laisse écouler lentement. Elle se réunit en



Fig. 10.

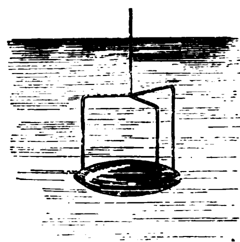


Fig. 11.

masse à l'extrémité du tube, et quand elle est en quantité suffisante, on retire la pipette en la bouchant ; l'huile reste immobile à la place où elle a été déposée, et y prend la forme sphérique. On sait qu'il en est de même toutes les fois qu'on agite de l'huile dans un liquide aqueux ; les gouttelettes oléagineuses sont toujours sphériques. C'est la forme la plus stable ; elle satisfait évidemment à l'équation ci-dessus.

Cette forme n'est pas la seule, et à l'aide de contours en fils métalliques préalablement huilés, M. Plateau a enseigné à obtenir soit un cylindre, soit des polyèdres à faces convexes si l'huile est en excès, planes si on en enlève une quantité convenable, concaves si on en ôte davantage.

L'expérience la plus curieuse de toute cette série si intéres-

sante est celle qui s'exécute en imprimant, au moyen d'un axe central, un mouvement de rotation à la sphère d'huile, ce qui s'obtient en la traversant par une tige métallique à laquelle on imprime un mouvement rotatoire. Celui-ci se communique à la masse d'huile, et la sphère s'aplatit par l'effet de la force centrifuge, et cela d'autant plus que le mouvement est plus rapide, ce qui rappelle bien la forme du sphéroïde terrestre.

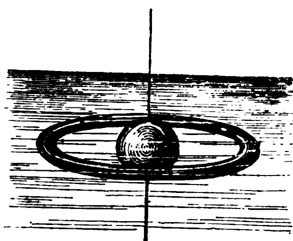


Fig. 12.

Quand la rapidité de la rotation augmente, l'aplatissement de la goutte d'huile s'exagère, elle se creuse, et bientôt se sépare en deux parties : l'une, intérieure, est un sphéroïde qui reste au centre; l'autre est un anneau qui l'entoure, et que l'on ne peut s'empêcher de comparer, pour son origine et son aspect, à l'anneau de la planète Saturne.

CONSTITUTION DES LIQUIDES.

L'analyse des faits qui permettent le mieux d'apprécier la constitution des liquides nous conduit donc à les considérer comme formés de molécules essentiellement mobiles, bien qu'exerçant les unes sur les autres des attractions. Que peut-il résulter de là, si ce n'est une infinité de mouvements moléculaires à orbites fermés, seuls compatibles avec la facile division des liquides La conception théorique de cette nature de corps, formulée au début, se trouve donc bien vérifiée.

Lorsqu'un liquide vient à se former par la fusion d'un corps solide, chaque molécule qui devient libre tend à se mouvoir sous l'action des forces diverses qui agissent sur elle; elle ne se sépare pas d'une molécule voisine, mais se meut autour d'elle; emportées ensemble, toutes deux constituent un tourbillon élémentaire semblable à ceux plus considérables que nous voyons se former dans les liquides en mouvement. Le travail, la force vive emmagasinée dans ces molécules ne saurait s'éteindre par communication au vase inextensible et immobile dans lequel le liquide est renfermé qu'avec une excessive lenteur.

Un liquide doit donc être considéré comme formé par une

réunion de molécules décrivant les unes autour des autres, sans se séparer, de petites trajectoires courbes, effectuant les unes autour des autres des mouvements orbitaires; c'est sous cette forme que s'emmagasine dans les liquides la force vive calorifique. L'attraction, sans déterminer la réunion des molécules comme dans les solides, n'y est pas négligeable comme dans les gaz; elle courbe les trajectoires et fait que les mouvements se produisent dans des courbes fermées et sont assimilables aux mouvements planétaires. Pris en masse, rapportés à la moyenne d'une infinité de molécules se mouvant en tous sens, ils peuvent être considérés comme circulaires.

On doit observer que tous ces orbites fermés en nombre infini, tous ces petits tourbillons élémentaires roulant les uns sur les autres, constituent autant de petits systèmes résistants à la compression et nullement à la division, dans lesquels la force d'attraction varie plus lentement que dans les solides pour une même variation de volume, l'écartement moléculaire initial devant être considéré comme plus grand, par suite de l'absence d'effets de polarité. L'incompressibilité des liquides résulte du nombre infini de ces systèmes indépendants, la pression se communiquant des uns aux autres en se divisant également à l'infini, en devenant presque nulle pour chacun d'eux, au lieu de se propager de proche en proche comme dans les solides à cause de l'adhérence de leurs molécules.

On doit pouvoir trouver quelque rapport entre les mouvements des molécules des liquides et les ondulations de l'éther qui adhère avec elles, et qui leur communique l'impulsion calorifique lors de la propagation de la chaleur par rayonnement. Peu de recherches ont encore été faites sur la question obscure des dimensions des orbites ou des rayons d'action de l'attraction moléculaire. Nous donnons ci-après un essai qui vient de paraître dans cette direction.

M. Jamin a reconnu que les espèces d'atmosphères éthérées qui entourent chaque molécule des liquides se comportent comme si elles étaient en contact. En effet, il a constaté que des franges apparaissaient lorsqu'on fait interférer deux rayons lumineux partant d'une même source lumineuse et ayant traversé deux tubes pleins d'eau, lorsqu'on vient à exercer sur l'un d'eux la pression minime mesurée par un millimètre de mercure,

c'est-à-dire que la moindre pression modifie la densité de l'éther.

Recherches expérimentales sur la constitution des liquides. — Dans le numéro de janvier des *Annales* de Poggendorf, M. Ch. Wiener a inséré un Mémoire que nous fait connaître M. l'abbé Moigno dans son journal *les Mondes*. Il a repris avec soin les expériences de Brown, déjà indiquées par M. Poncelet, comme propres à faire connaître la constitution intime des liquides. « Pour se former une idée, dit ce savant, de la vivacité et de la complication extrême des mouvements dont les molécules des fluides peuvent être le siége, il n'y a qu'à interposer entre l'œil armé d'une loupe et la flamme d'une bougie une plaque de verre transparente et bien nettoyée, sur laquelle se trouve étendue une couche mince de sirop d'orgeat (renfermant nombre de petits fragments solides de faible densité qui participent aux mouvements du liquide) délayée dans de l'eau bien pure. On sera surpris de la bizarrerie des mouvements présentés par les particules étrangères, mouvements qui se rapportent à la classe de ceux qu'on a désignés sous le nom de *Browniens*, et que l'on attribuait à une sorte de vitalité des dernières particules de la matière. »

Après avoir renoncé à l'idée erronée de Brown, on a d'abord supposé que ces mouvements avaient leur origine dans des courants occasionnés par des variations de température. Mais les observations microscopiques de M. Wiener lui ont donné la conviction qu'il s'agit ici des mouvements élémentaires propres à l'état liquide. M. Wiener a pris un verre concave de lunettes (besicles), il en a fait roder et graisser le bord, puis il y a déposé une goutte d'eau tenant en suspension un corps solide très-divisé : du quartz, de l'acide silicique, de la céruse, de la gomme-gutte. Ayant alors couvert le tout d'une lame de verre très-mince, il le soumit au microscope. Une goutte ainsi préparée resta liquide pendant douze jours, et montra les mêmes trépidations. La gomme-gutte est surtout propre à ces expériences parce qu'en raison de son propre poids elle se tient longtemps en suspension. Les vibrations sont irrégulières, comme inquiètes, saccadées, ce sont des zigzags rapides, comme ceux que ferait un animalcule, et ne ressemblent en rien aux mouvements des courants.

On ne saurait les attribuer à des infusoires, puisque le quartz avait été préalablement calciné, et que les parcelles s'agitaient toutes sans exception. Si le mouvement avait son origine dans les secousses communiquées à la goutte d'eau, il s'éteindrait au bout d'un temps très-court; de plus, il consisterait en vibrations régulières. Ce mouvement ne saurait être attribué non plus à l'action mutuelle des particules suspendues, car il ne se modifie point si le liquide est très-délayé, et il ne semble dépendre aucunement des distances plus ou moins grandes des différentes particules entre elles. Le mouvement observé ne peut pas non plus s'expliquer par des variations locales de la température; car ces variations finiraient par se compenser; en outre, les courants qui en résultent offrent un caractère tout à fait particulier, ainsi que M. Wiener s'en est assuré par quelques expériences. Enfin, il n'est pas possible de chercher l'origine des trépidations observées dans l'évaporation du liquide, car elles ont lieu dans l'intérieur même, et sont identiques dans une goutte renfermée et dans une goutte découverte qui s'évapore rapidement[1]. Il ne reste donc qu'à les rapporter aux mouvements moléculaires des liquides.

La grandeur de ces mouvements est liée à la dimension des particules flottantes, et M. Wiener a cru constater que la sphère des mouvements homologues a une largeur de $0^{mm},0012$ environ. Les longueurs d'onde de la lumière rouge dans l'eau dépassent $0^{mm},0005$, et atteignent $0^{mm},0007$ dans l'air; celles de la chaleur obscure sont plus considérables encore. Les trépidations visibles dans l'eau sont donc de même ordre que les oscillations calorifiques.

Confirmation. — On entrevoit une confirmation de la vérité du mode de constitution des liquides, que je viens d'indiquer, dans les intéressantes expériences de M. Dufour (de Lausanne). On sait que ce physicien a montré que les points de solidification et d'ébullition des liquides n'étaient pas absolument fixes; que des liquides soustraits à des influences extérieures, nageant sous forme de globules dans un milieu de densité convenable, résis-

1. Les bizarreries des mouvements doivent d'autant moins étonner, que ce que l'on peut voir ainsi, ce sont des projections de mouvements orbitaires.

tent en quelque sorte au changement d'état. Il a pu ainsi, par exemple, maintenir du soufre liquide à 110° au-dessous du point de fusion du soufre solide. Il faut nécessairement que la constitution des liquides ait quelque chose de particulier, pour que la somme des forces vives moléculaires puisse y varier dans des limites aussi étendues ; c'est ce qui se comprend bien pour les mouvements orbitaires, les tourbillons moléculaires que nous avons cherché à définir. Il ne pourrait en être de même pour l'état solide ou l'état gazeux, et l'expérience semble bien indiquer qu'il ne se produit pas alors, en effet, de phénomènes semblables.

§ IX. — Conséquences analytiques. Systèmes proposés.

On voit, en résumé, que les principaux résultats de l'étude expérimentale des phénomènes qui se produisent lors de l'application des forces mécaniques aux corps, sous les trois états que nous rencontrons dans la nature, concordent parfaitement avec le mode de constitution qui se déduit *à priori* comme conséquence nécessaire de l'attraction mutuelle des molécules matérielles et des impulsions reçues par ces molécules. L'étude des phénomènes calorifiques confirme tout à fait cette manière d'analyser la constitution des corps, dont elle fournit le point de départ en faisant considérer la chaleur comme produisant des impulsions moléculaires. Les dilatations, les changements d'état qui surviennent à mesure que les impulsions moléculaires croissent avec l'échauffement, deviennent des conséquences nécessaires du mode de constitution des corps que nous avons tenté de formuler ; mais nous n'avons pas à nous étendre ici sur ces conséquences, n'ayant pour objet, dans ce travail, que d'établir un point de départ pour l'étude satisfaisante de cet ordre de phénomènes.

Nous arrivons, à l'aide des principales lois de la mécanique physique, à considérer, comme nous y sommes arrivés par la considération des forces attractives et impulsives :

1° Les corps solides comme formés de molécules soudées ensemble par les forces d'attraction, vibrant pendulairement ;

2° Les liquides comme formés de molécules libres, pouvant tourbillonner les unes autour des autres en raison des forces im-

pulsives, maintenues à distance par la force d'attraction, formant des systèmes planétaires à orbites elliptiques;

3° Les gaz comme formés de molécules libres parcourant des éléments linéaires que l'attraction réciproque ne peut qu'infléchir dans une faible partie, qui sont hyperboliques; ces molécules tendent par suite à s'écarter indéfiniment.

De l'éther. — En poursuivant cette étude, on arrive forcément à tenir compte de l'intervention de l'éther, dont le rôle ne peut être douteux quand il s'agit de la chaleur rayonnante. Je reviendrai, en quelques mots, sur le rôle qu'on peut lui attribuer le plus probablement d'après l'ensemble des faits connus; sur la résistance que les molécules matérielles des corps opposent par leur inertie au mouvement vibratoire de l'éther qui les environne, qui agit sur elles.

Étant certain que l'éther possède un mouvement vibratoire extrêmement rapide, et étant démontré également par des expériences d'optique que l'éther varie d'élasticité dans l'intérieur des corps et, par suite, est susceptible d'adhérer à chaque atome, de former une atmosphère éthérée autour de lui, on en déduit nécessairement que les vibrations de l'éther, agissant sur cette atmosphère adhérente, se communiquent aux atomes par son intermédiaire, et que les vibrations de l'éther et des molécules pondérables sont simultanées. Comme la masse de celles-ci est infinie par rapport à celle de l'éther, qui est, sinon nulle, au moins excessivement minime, la vitesse qu'elles reçoivent est d'autant moindre que la masse est plus grande. V étant la vitesse de l'éther répondant aux ondulations calorifiques considérées, celle-ci ne saurait être communiquée en totalité, pendant un temps extrêmement court, à une molécule dont l'inertie est relativement presque infiniment grande; m étant la masse de la molécule, v sa vitesse, nous avons vu que pour des molécules entièrement libres, pour des corps gazeux différents, on avait $mv^2 = \text{const.}$, quelle que fût la pression. V et v varient donc simultanément avec la température, et on peut comme première approximation, au moins, poser $mv^2 = KV^2$ (10), K étant un nombre qui varie peu pour des valeurs de V peu différentes.

Cette relation, qui exprime que la vitesse du mouvement moléculaire diminue à mesure que la masse de l'atome augmente,

c'est-à-dire en raison de l'inertie moléculaire, est capitale pour le cas des corps gazeux, dans lesquels les molécules sont entièrement libres; elle ne suffit déjà plus pour les corps liquides, dans lesquels existent les forces d'attraction moléculaire, qui forcent les molécules à parcourir un orbite fermé, et limitent leur trajectoire. Mais c'est surtout pour les corps solides, où elles sont réunies par les forces qui les contraignent à adhérer ensemble, qu'il importe de ne plus considérer seulement l'inertie des molécules. La variation de vitesse dépend alors de la force d'attraction et de l'écartement moléculaire, de la roideur qui s'oppose aux déplacements, et, au lieu d'être, par exemple, seulement égale à une fonction simple de $\frac{V}{m}$, la vitesse v sera une fonction complexe de l'inertie des molécules et de l'élasticité E du corps considéré, et on devrait écrire

$$v = \varphi\left(\frac{V}{m}, E\right). \tag{11}$$

Nous savons qu'à cet état, un corps peut faire un très-grand nombre de vibrations dans l'unité de temps, bien que la force vive consommée pour les produire soit minime.

Il est assez difficile de se représenter comment les choses se passent pour produire l'effet inverse de celui qui vient d'être indiqué, c'est-à-dire comment un accroissement de vitesse de la molécule produit un accroissement de la vitesse de vibration de l'éther, genre d'effet qui apparaît sous la forme de chaleur rayonnante. On peut admettre ce résultat comme un fait d'expérience dont on trouve de nombreux exemples, sans qu'il soit facile d'établir, d'une manière conforme aux lois de la mécanique, comment les choses se passent entre éléments mal connus dans leur nature intime.

On peut toutefois considérer comme probable, que la variation de la vitesse de la molécule produit une variation dans la pression de l'atmosphère éthérée qui l'entoure, susceptible d'en faire varier la densité et, par suite de son extrême mobilité, de produire des accroissements de vitesse de l'éther ambiant, précisément égaux à ceux qui eussent engendré par une action de l'éther sur la molécule du corps, la variation de vitesse dont il s'agit.

Qu'on admette cette explication comme exacte ou comme une hypothèse, on constate que les choses se passent comme nous venons de le dire, et par suite, que les principes que nous établissons ici sont convenables pour pousser en avant l'édifice d'une explication synthétique d'un ensemble de faits nombreux, dont l'analyse encombrait tellement la science physique, qu'on tendait à confondre celle-ci avec la description des expériences.

DES VARIATIONS DES FORCES VIVES MOLÉCULAIRES DANS LES CORPS.

En n'envisageant les corps que comme des unités simples, on ne pouvait arriver à une analyse suffisante des phénomènes, tandis qu'en les considérant comme des systèmes complexes, formés par un nombre presque infini de molécules en mouvement sous l'influence de forces agissant suivant des lois déterminées, on doit pouvoir agrandir le domaine de la science.

Le problème de l'action de forces extérieures sur un système semblable est d'une bien plus grande complication qu'on ne l'avait supposé jusqu'ici; mais si leur analyse détaillée est souvent presque impossible, le principe de la conservation des forces vives nous permet toujours d'apprécier l'ensemble des effets produits. Il ne faut pas confondre cette manière de raisonner, qui consiste à évaluer la totalité des effets sans avoir besoin d'analyser leur production dans tous ses détails, avec celle consistant à considérer les corps comme des systèmes passifs, en laissant de côté les questions capitales de la mécanique moléculaire.

J'indiquerai quelques résultats analytiques auxquels conduit immédiatement la considération de l'équation des forces vives; on y reconnaîtra facilement des formules équivalentes à celles établies au début de tous les écrits qui traitent la théorie mécanique de la chaleur, ce qui ne peut manquer d'avoir lieu, puisque celle-ci consiste précisément dans l'introduction de semblables considérations pour analyser les phénomènes calorifiques, à faire de la mécanique pure.

Dans des conditions déterminées, un corps dont les molécules possèdent, pour l'unité de poids, une somme de forces vives, $U = \Sigma \frac{m v^2}{2}$, nous apparaît avec un volume v qui est aussi en

raison de la résistance qu'il oppose aux pressions p qui agissent sur lui, comme la pression atmosphérique, la pesanteur, etc. La somme des forces vives possédées par les molécules déterminera le volume du corps sous la pression à laquelle il est soumis et sera égale par suite à une fonction de la pression et du volume. Si on vient à considérer le corps à un autre instant, lorsqu'il se sera produit une variation de forces vives, on aura la relation fondamentale et tout à fait générale donnée par le principe des forces vives, savoir :

$$\Sigma \frac{mv^2}{2} - \Sigma \frac{mv_0^2}{2} = f(\mathrm{v}, p) - f(\mathrm{v}_0, p_0) = \mathrm{U}_1 - \mathrm{U}_0 \qquad (12)$$

ou, en prenant les variations élémentaires :

$$\Sigma\, mvdv = d\mathrm{U}. \qquad (13)$$

Mais aucun accroissement de forces vives des molécules en mouvement d'un corps ne peut avoir lieu sans engendrer un accroissement de volume, sans faire naître par suite un travail extérieur en surmontant la résistance p qui s'oppose à cet accroissement. L'accroissement de volume étant $d\mathrm{v}$, $pd\mathrm{v}$ sera ce travail, et $\mathrm{A}pd\mathrm{v}$ le terme à ajouter à $d\mathrm{U}$ (A étant un facteur ramenant $pd\mathrm{v}$ à être exprimé en unités de même ordre que $d\mathrm{U}$, s'il y a lieu) pour obtenir l'expression de tout le travail consommé par une semblable variation. Appelons $d\mathrm{Q}$ cette somme, on aura :

$$d\mathrm{Q} = d\mathrm{U} + \mathrm{A}pd\mathrm{v} = \Sigma\, mvdv + \mathrm{A}pd\mathrm{v} \qquad (14)$$

En intégrant, on aura pour le travail total à dépenser pour fournir à un accroissement de forces vives d'un corps qui surmonte en même temps une pression extérieure :

$$\mathrm{Q}_1 - \mathrm{Q}_0 = \mathrm{U}_1 - \mathrm{U}_0 + \mathrm{A}\int_{\mathrm{v}_1}^{\mathrm{v}_0} pd\mathrm{v} = \Sigma \frac{mv_1^2}{2} - \Sigma \frac{mv_0^2}{2} + \mathrm{A}\int_{\mathrm{v}_1}^{\mathrm{v}_0} pd\mathrm{v}. \qquad (15)$$

Pour un gaz, cette relation est capitale, le dernier terme ayant alors une grande valeur, l'accroissement de volume étant une quantité toujours très-notable.

Pour les corps solides et liquides, ce terme est négligeable; mais il survient un autre effet, c'est un *travail intérieur* con-

sommé par la résistance intérieure qu'opposent aux accroissements de volume les forces d'attraction qui n'interviennent pas sensiblement dans les gaz. Si nous appelons T ce travail, nous aurons alors :

$$dQ = dU + AdT = \Sigma m dv + \Sigma\, m\, \frac{\mu}{s^2} ds,$$

μ étant la force d'attraction qui s'exerce de molécule à molécule, et s leur écartement; en intégrant on a :

$$Q_1 - Q_0 = U_1 - U_0 + AT, \qquad (16)$$

T étant positif ou négatif, suivant qu'il s'agit d'un accroissement ou d'une diminution de volume.

Si l'on cherche ce que deviennent ces équations pour un changement d'état des corps, on voit que la dernière suffira pour exprimer la variation des forces vives d'un corps qui passera de l'état solide à l'état liquide sans changement de volume assez sensible, comme cela a lieu le plus souvent, pour qu'il y ait à tenir compte du travail extérieur. Pour un liquide réduit en gaz, en vapeur, il faudra réunir les deux termes qui répondent au travail intérieur et au travail extérieur, et les ajouter tous deux à l'expression des forces vives moléculaires du corps, et poser :

$$Q_1 - Q_0 = U_1 - U_0 + AT + A\int_{V_1}^{V_0} p dV. \qquad (17)$$

Ce n'est pas ici le lieu de donner de longs développements à ce genre de considérations sur lequel nous reviendrons sans doute plus tard, et de montrer comment ces équations conduisent à l'explication et à la mesure des principaux phénomènes de l'action de la chaleur sur les corps, en tenant compte d'éléments essentiels mal analysés jusqu'à ce jour.

SYSTÈMES PROPOSÉS PAR MM. REDTENBACHER, CLAUSIUS, ETC.

Comme vérification des principes que je viens d'établir, je citerai les systèmes semblables auxquels sont arrivés des savants justement estimés; ils montreront comment les vérités acquises de la science conduisent forcément à quelque chose d'analogue.

D'après Redtenbacher (*Dynamiden System*), dit M. Zeuner, les corps sont formés de particules, d'atomes invariables séparés les uns des autres par de très-grands intervalles. Les atomes sont tellement petits qu'il peut s'en trouver un nombre excessivement grand dans une masse de substance qui échappe à nos sens, et il existe autant d'atomes d'espèces différentes qu'il y a d'éléments chimiques. Les atomes des corps sont pesants, ont un poids particulier, et agissent les uns sur les autres par l'effet de forces attractives. Les atomes d'espèces différentes (et aussi d'espèces semblables, d'après Clausius) peuvent se combiner en un groupe, qui alors constitue une *molécule :* c'est de cette manière que se forment les corps combinés chimiquement.

Outre les atomes matériels, les corps contiennent de l'*éther*, formé aussi d'atomes. L'éther est répandu dans tout l'espace infini et pénètre tous les corps. Les atomes de l'éther se repoussent mutuellement, et sont attirés par les atomes matériels. Par suite de l'action de ces forces attractives et répulsives, l'éther forme dans les corps une sorte d'atmosphère autour des atomes matériels ou des molécules, de telle façon que chacune de ces atmosphères a une forme déterminée et limitée, et que l'espace qui se trouve entre deux atomes corporels est en grande partie vide. Redtenbacher appelle *dynamide* un atome ainsi entouré de son atmosphère éthérée ; il appelle *dynamide composée* une molécule ou la réunion de plusieurs atomes matériels entourée d'une atmosphère éthérée commune. Suivant ce savant, le mouvement qui nous apparaît comme chaleur consiste en *vibrations radiales* des atmosphères éthérées qui se dilatent et se contractent.

M. Clausius comprend de la même manière la constitution des corps; mais de plus il admet des mouvements des molécules « variables », différents selon que les corps se trouvent à l'état solide, liquide ou gazeux. Il a montré que la constitution qu'il propose est d'accord, dans tous les cas, avec le grand principe de la *conservation des forces vives.*

Suivant ce savant, à l'état solide les molécules se meuvent autour de leur position d'équilibre; elles oscillent sous l'influence des attractions ou répulsions qu'elles exercent les unes sur les autres. Outre les oscillations rectilignes des molécules, il peut aussi se produire des vibrations circulaires autour du centre de

gravité[1], et des mouvements des atomes mêmes qui forment les molécules. A l'état liquide répond un mouvement *oscillatoire*, *rotatoire* et *translatoire;* par rapport à l'attraction réciproque des molécules, la force vive que représente le mouvement n'est pas assez puissante pour les séparer complétement les unes des autres; elles se maintiennent, sans pression extérieure, à un certain volume.

A l'état gazeux, les molécules sont sorties complétement de leur sphère d'attraction réciproque, et se meuvent selon les lois ordinaires du mouvement rectiligne.

On voit que je ne suis pas seul à sentir l'importance des recherches tentées dans ce travail, et qu'il est bon que les meilleurs esprits se préoccupent de bien fixer la vérité des premiers principes sur lesquels repose tout l'édifice de la science physique. Dans l'état actuel des connaissances il paraît possible de les déterminer avec un haut degré de probabilité, pour le moins.

De la constitution des corps suivant M. Tyndall. — Dans un intéressant ouvrage, ayant pour titre LA CHALEUR CONSIDÉRÉE COMME MOUVEMENT, le savant professeur de physique de l'Institution royale de Londres traite aussi de la question qui nous occupe. Je traduirai ici la partie de la troisième leçon qui s'y rapporte, et on verra que les savants anglais, aussi bien que les savants allemands, se rapprochent beaucoup du système que nous avons formulé. M. Tyndall y arrive, comme on va le voir, comme à un résultat nécessaire des changements d'état physique causés par l'échauffement des corps.

« Nous avons vu, dit-il, qu'en faisant tomber un marteau de forge sur une masse de plomb, le métal devient chaud, en même temps que le mouvement mécanique est arrêté. Autrefois on prétendait que la force du marteau était simplement perdue par suite du choc. Dans les corps élastiques, en supposait qu'une portion de la force était restituée par l'élasticité du corps, qui faisait que la masse tombante rebondissait; mais pour les corps non élastiques il était admis que la force du choc était perdue. C'est d'après les nouveaux principes une erreur fondamentale, et l'on doit reconnaître qu'il n'y a pas de perte lorsque le mou-

1. Ces vibrations ne paraissent pas compatibles avec l'état solide proprement dit.

vement du marteau s'arrête, mais simplement *transport* et non destruction. Le mouvement de masse a été transformé en totalité en mouvement des molécules qui composent la masse. Le mouvement de la chaleur toutefois, bien qu'intense, est exécuté dans des limites trop étroites, et les particules en mouvement sont trop petites pour être visibles. Pour discerner ces effets il faut faire usage d'yeux plus perçants et d'une plus grande puissance, c'est-à-dire de l'œil et de la puissance de l'esprit.

« Dans le cas des corps solides, bien que la force de cohésion réunisse leurs particules ensemble, on peut concevoir qu'elles sont en vibration. On peut supposer qu'elles oscillent en deçà et au delà de leur position d'équilibre, et l'accroissement de chaleur du corps par percussion, compression ou frottement, peut répondre à une augmentation d'intensité de la vibration moléculaire, à un accroissement d'amplitude des oscillations atomiques. Dans ces conditions, il est tout naturel que les particules en vibration tendent à s'écarter les unes les autres, ce qui produit l'augmentation du volume du corps qu'elles constituent. Tel est l'effet général de l'échauffement des corps, l'accroissement de volume. Ainsi, par la force de cohésion, les particules adhèrent ensemble; par l'effet de la chaleur elles tendent à se séparer; ce sont bien là les deux principes antagonistes dont dépend la constitution moléculaire des corps.

« Supposons que la communication de la chaleur continue, chaque augmentation de celle-ci fait écarter de plus en plus les molécules; mais la force de cohésion, comme toutes les autres forces connues, agit d'autant plus faiblement que les particules, siége de cette force, sont à plus grande distance. Par suite, à mesure que la chaleur a plus d'action, les résistances opposées diminuant, il arrive un point où les particules sont assez éloignées pour échapper à la cohésion, deviennent libres, non-seulement de vibrer en deçà et au delà d'une position moyenne, mais encore de rouler et couler l'une autour de l'autre. La cohésion n'est pas détruite, mais elle est modifiée, de telle sorte que, pendant que les particules peuvent encore résister à une action qui tendrait à les écarter les unes des autres, leur mobilité pour des mouvements latéraux l'une autour de l'autre est complète. *C'est là l'état liquide.*

« Dans l'intérieur d'une masse liquide, le mouvement de

chaque atome est limité par les atomes qui l'entourent. Si l'on vient à développer une suffisante quantité de chaleur dans l'intérieur du liquide, qu'arrive-t-il? Les particules du liquide chauffé, brisant les derniers liens de la cohésion, s'échappent en bulles de vapeur. Si l'une des surfaces du liquide est entièrement libre, c'est-à-dire n'est gênée ni par un liquide ni par un solide, il est aisé de comprendre que quelques particules en vibration de la surface peuvent être jetées en dehors du liquide et lancées dans l'espace avec une certaine vitesse. *Lorsque cesse l'influence de la cohésion, apparaît donc la forme gazeuse ou de vapeur de la matière.*

« Je cherche à familiariser vos esprits avec la conception générale du mouvement atomique. J'ai dit que les vibrations des particules d'un solide causaient son expansion; quelques savants ont pensé que ces particules tournaient l'une autour de l'autre, et que leur écartement résulte de la communication de la chaleur qui augmente la force centrifuge. Si on prend un poids attaché à un ressort spiral et si on fait tourner avec la main le poids dans l'air, il tend à s'écarter, le ressort s'allonge d'une certaine quantité d'autant plus grande que la vitesse de rotation est plus grande; la distance entre la main et le poids va en croissant. On a pensé que l'augmentation de distance produite par la chaleur entre les atomes des corps peut être due de même aux révolutions de leurs particules. Si l'on imagine que la révolution continue jusqu'à ce que le ressort se rompe, la balle s'échappe suivant la tangente au dernier élément de son orbite et représente un atome affranchi par la chaleur de la force de cohésion que figure la résistance du ressort. Les idées de nos premiers savants sont encore incertaines relativement à la nature du mouvement de la chaleur; mais le grand point est qu'on pense que c'est un mouvement, sans en fixer d'une manière bien précise le caractère, question réservée aux investigations futures.

On pourrait s'étendre sur la notion du mouvement des atomes des gaz, et en déduire l'analyse des phénomènes qu'ils présentent. J'ai déjà donné une idée de la constitution des gaz, qui est aujourd'hui bien établie[1], et qui consiste à considérer leurs

1. Par Joule, Krönig, Maxwell, et dans de savants mémoires, par Clausius.

molécules comme se mouvant en ligne droite à travers l'espace.

« D'après cette hypothèse, on doit se figurer un corps gazeux comme formé de molécules animées d'un mouvement rectiligne, se choquant les unes les autres comme de petits projectiles, et frappant sur les parois de la capacité qui les renferme. Si on place une vessie à moitié pleine d'air sous la cloche d'une machine pneumatique, puis qu'on enlève l'air qui entoure la vessie, celle-ci se gonfle; l'air intérieur devient libre de se détendre et repousse l'enveloppe. Comment se produit cette expansion de la vessie? D'après la théorie actuelle, elle est due aux chocs des projectiles atomiques contre la face interne, ce qui produit le déplacement des parois de l'enveloppe jusqu'à ce que sa tension soit susceptible d'empêcher leur action. Quand on fait rentrer l'air extérieur sous la cloche, la vessie revient à son premier état; ce sont les chocs des particules d'air contre la surface extérieure de la vessie qui réduisent le volume de l'air qu'elle renferme, ce qui fait qu'en même temps les molécules de l'intérieur s'échauffent, jusqu'à ce que finalement la résistance à l'intérieur soit égale à la puissance extérieure, et alors l'enveloppe reste en repos. Toutes les impressions, par conséquent, qui nous proviennent de l'air chauffé ou de la vapeur, sont dues au choc des atomes gazeux. Ceux-ci agissent d'une manière particulière sur les nerfs, les nerfs transmettent leur mouvement au cerveau, et celui-ci reconnaît qu'il y a chaleur. »

COMPOSITION DES POUSSIÈRES

PROVENANT

DU NETTOYAGE ET DES DÉBOURRAGES DE LAINE

PAR M. AUGUSTE HOUZEAU

Dans l'industrie Elbeuvienne on donne le nom de débourrages ou bourre de laine à ces détritus organiques qui proviennent du lainage et du tondage des draps.

Considérés comme déchets, sans valeur industrielle, il y a une trentaine d'années, ces débourrages sont, de nos jours, traités par un moyen économique qui permet d'en retirer 20 °/₀ de laine servant dans certaines localités à la fabrication des draps communs.

Les parties qui restent et qui représentent les quatre-vingts centièmes de la masse totale se divisent en deux portions égales, dont l'une, formée d'ordures de toutes sortes, est rejetée, et dont l'autre, au contraire, tout en étant recueillie, n'a pas grande valeur, puisqu'en été elle ne peut servir que comme combustible.

Dans l'intention de reconnaître si l'on n'en pourrait pas tirer un meilleur parti, je l'ai soumise à l'analyse chimique dans le laboratoire de l'École des Sciences de Rouen.

Ce produit contient sur 100 parties en poids :

Eau	9,15
Matières grasses	32,60
Substances organiques azotées et non azotées.	43,05
Phosphate de magnésie	traces.
Sulfate de chaux	0,80
Carbonate de chaux	1,46
Chlorures alcalins	0,08
Oxyde de fer	2,20
Silice, sable et perte	10,66
	100,00
Azote	3.72

Deux résultats sont mis en évidence par cette composition : la grande richesse du produit en matière grasse, et sa teneur en azote. On doit espérer, en effet, que le premier point fixera un jour l'attention des chimistes et des industriels, et que ces poussières de débourrages et les débourrages eux-mêmes, qui sont non moins riches en corps gras, pourront servir à l'extraction de l'huile qu'ils recèlent et dont la quantité est égale et même supérieure à celle que contiennent certaines graines oléagineuses qui sont l'objet d'une exploitation considérable. Ces matières grasses pourront être converties en savons ou servir de nouveau, après une épuration convenable, à l'ensimage des laines.

Dans l'état actuel des choses, ces déchets de débourrages, par suite de leur nature azotée, pourraient être utilisés avec avantage par l'agriculture, soit directement dans leur forme normale ou mélangés au fumier, au phosphate de chaux, au guano Baker, soit indirectement en servant de matière première à la fabrication des engrais industriels. Leur efficacité comme agent fertilisant n'est point seulement établie par les indications de la science, elle est depuis longtemps prouvée par de nombreuses observations pratiques. L'Angleterre en fait une grande consommation pour la culture du houblon, et en province on emploie les résidus de laine, surtout dans les terrains secs, pour les cultures les plus variées.

MM. Boussingault et Payen citent même l'économie qu'un habile agriculteur réalise, près de Paris, sur une terre de 183 hectares, par l'emploi de détritus de laines. Il achète cet engrais au prix de 180 fr. les 3000 kilogrammes qui suffisent pour fumer un hectare, et qui remplacent ainsi les 45000 kilos de fumier qui lui auraient coûté 315 fr. L'effet s'en faisant sentir au delà de la troisième année, il alterne tous les trois ans l'emploi des chiffons et celui du fumier.

Pour être répandus sur le sol avec facilité et égalité, et aussi pour agir plus rapidement, les déchets de laine ont besoin d'être divisés. Les Anglais parviennent à ce résultat en torréfiant les chiffons imbibés de lessive de soude ; ces chiffons se désagrégent, durcissent tout en devenant entièrement friables, et se laissent ensuite réduire très-facilement en poudre. Cependant ce mode de pulvérisation ne s'effectue pas sans une diminution dans la valeur agricole de l'engrais, puisque, sous l'influence de l'alcali,

il y a une notable déperdition d'azote à l'état de vapeur ammoniacale. C'est encore un des avantages qu'offrent les poussières de débourrages; l'industrie les livre dans un grand état de division qui rend inutile le traitement chimique et mécanique dont nous venons de parler. La production de ces poussières fertilisantes n'est pas, d'ailleurs, seulement restreinte à la fabrique Elbeuvienne; Lisieux, Louviers, Sedan, etc., en fournissent également des quantités importantes. Seulement à Elbeuf l'industrie drapière produit annuellement environ 750000 kilogrammes de débourrages, d'où l'on tire d'une part 20 p. cent de laine, autrefois perdue et employée aujourd'hui à la fabrication des draps communs, et, d'autre part, 40 p. cent de poussière de laine, représentant conséquemment un total d'engrais annuel de 300 000 kilos. En admettant, d'après mon analyse, que la teneur de cet engrais en azote soit en moyenne de 3 p. cent, on voit que l'agriculture trouverait dans ces déchets une nouvelle ressource de 9000 kilog. d'azote, qui de nos jours est en grande partie dissipée sous forme de fumée et de suie.

Ces 9000 kilogrammes d'azote représentent d'ailleurs, selon M. Boussingault, 1 500 000 kilog. de fumier de ferme, qui peuvent produire plus de 280 hectolitres de blé normal.

D'après le prix courant du kilogramme d'azote, qui est de 1 fr. 70, ces poussières de débourrages, une fois rendues sur le marché comme engrais, doivent être estimées à une valeur de 15 300 fr., ce qui les met à cinq centimes le kilogramme. Mais on conçoit que si, au lieu de les livrer telles qu'elles sont, on les débarrassait économiquement de la matière grasse qu'elles contiennent, leur richesse agricole ne serait point amoindrie, et de plus l'industrie pourrait bénéficier d'un rendement annuel de 100 000 kilogrammes d'huile.

LA PARFUMERIE EN 1862

Par M. BARRESWIL.

Il y a dans la parfumerie, l'art et l'industrie; l'art du parfumeur consiste à composer, par des mélanges d'odeurs, des *bouquets* à l'imitation d'une fleur ou d'un assortiment de fleurs naturelles; à mettre en œuvre les huiles essentielles, les baumes, les parfums des fleurs dissous dans la graisse, dans l'huile, ou dans l'alcool, pour en confectionner les pommades, les cosmétiques, les eaux et les savons de toilette; à préparer les extraits alcooliques, les vinaigres, etc.; enfin à disposer ces marchandises dans des enveloppes spéciales qui les mettent en valeur, soit par le goût, soit par l'utilité de l'emballage et en facilitent ainsi la vente.

Nos fabricants excellent dans cette mise en œuvre; nul ne sait mieux que le Français, et principalement le Parisien, assortir les odeurs, composer des parfums délicats et variés, nul ne sait aussi bien donner à l'enveloppe une tournure élégante et gracieuse.

Ce n'est pas à dire pour cela qu'il ne se fasse rien de bon ailleurs que chez nous. Tout le monde connaît l'Eau de Cologne dont le bouquet est si essentiellement populaire, l'Ess-Bouquet des Anglais a une réputation méritée, les sachets d'Orient, les flacons d'essence de roses ont un cachet que le nombre infini de nos modèles n'a pas fait oublier. Toutefois tout le monde aussi s'accorde à dire que pour l'ensemble des articles de parfumerie, comme distinction des odeurs et comme variété des formes, nous occupons le premier rang; et nous pouvons affirmer qu'il ne saurait nous être disputé par les Allemands ou les Belges qui copient nos articles, ni par les Anglais qui restent immuables dans leurs modèles classiques. L'Exposition de 1862 l'a bien prouvé, et si on a pu, au point de vue de la parfumerie exquise, regretter l'absence de plusieurs maisons dont la réputation de bon goût et d'élégance est européenne, les maisons qui étaient représentées à Londres tenaient toutes parfaitement leur rang.

On a beaucoup apprécié l'odeur fraîche et délicate de nos sa-

vons fins, l'élégance et la richesse de nos sachets, de nos parfums pour le mouchoir; on a unanimement rendu justice à l'exquise senteur, ainsi qu'à l'emballage ingénieux de nos articles de l'industrie parisienne.

L'industrie de la parfumerie a pour base l'extraction des substances odorantes que nous présente la nature et principalement le règne végétal, la purification des excipients, tels que graisses, huiles, alcools, etc., et leur saturation par le parfum des fleurs.

Certains parfumeurs emploient seulement les parfums préparés, d'autres se livrent en même temps à leur extraction; il en est enfin qui joignent à l'industrie des parfums la culture des plantes odoriférantes ou la préparation des parfums artificiels obtenus par des procédés chimiques.

Il était important de donner cette explication sommaire afin de pouvoir mettre à sa vraie lumière les mérites de notre exposition à Londres et de faire connaître exactement le degré d'importance et d'avancement de la France au point de vue de la parfumerie.

L'importance réelle du commerce de la parfumerie ne date chez nous que de peu d'années; sa progression rapide et son développement sont dus aux divers mérites spéciaux dont nous venons de parler. En 1810, le mouvement total de cet article était à peine, en France, de fr. 2,000,000; il est aujourd'hui de plus de fr. 40,000,000.

Une maison qui à cette époque était classée parmi les meilleures de la place faisait pour 35,000 fr. d'affaires par an; en 1862 elle a fait près de 2,000,000; en 1810 elle occupait cinq personnes et quelques outils mus à bras d'homme; elle en emploie aujourd'hui 181 et une force motrice de vingt-cinq chevaux de vapeur qui donne le mouvement à un outillage important. Un seul article, un vinaigre de toilette, exploité avec intelligence et vigueur, a atteint le chiffre de 1,000,000, au prix du gros, net de toute remise. Et l'on cite une fabrique de savon de toilette qui livre annuellement à la consommation pour plus de 800,000 fr. de ce produit.

Tels sont les traits principaux du commerce de la parfumerie; entrons dans quelques détails techniques sur les opérations manufacturières, qui doivent être classées en deux branches distinctes : 1° l'extraction des parfums; 2° leur appropriation aux besoins de l'art du parfumeur.

La seconde branche de l'industrie de la parfumerie a son siége principal à Paris, ses produits sont les savons de toilette, les extraits d'odeurs, dont la fabrication offre tant d'intérêt, les préparations cosmétiques de toutes sortes, les eaux de toilette, etc.

Confection des savons de toilette. — L'outillage employé à la manipulation dont il s'agit, est, dans quelques-unes de nos fabriques, très-perfectionné et mérite d'être connu ; tel qu'il est installé dans les beaux ateliers de M. Piver, à qui la parfumerie doit une grande partie de ses récents progrès, il est aussi complet et aussi satisfaisant que possible.

Il y a peu d'années, le parfumeur n'était pas savonnier (il ne l'est pas en Angleterre); il achetait son savon, le refondait à une douce chaleur et lui incorporait les parfums; ou bien il le divisait dans un mortier de marbre, le pilait avec les parfums et les substances cosmétiques, puis il le divisait, le pelotait à la main et après un long séjour au séchoir, il le disposait dans un moule en deux pièces qu'il frappait avec une masse, pour lui donner la forme régulière et l'empreinte que demande le commerce.

Aujourd'hui le parfumeur opère lui-même toutes les manipulations que demande la confection du savon.

Divers perfectionnements de détails ont été apportés à la savonnerie. Je vais examiner les plus importants.

M. Piver a eu la bonne idée d'adapter à la préparation des corps gras le hachoir circulaire qu'emploient les charcutiers; avec cet outil il tranche toutes les cellules qui recèlent le corps gras, et la fusion qui s'opère très-facilement à basse température lui permet d'isoler sans perte la matière animale et d'obtenir des graisses inodores. Ces graisses sont saponifiées par la lessive de sel de soude rendu caustique par la chaux; la saponification est opérée dans une cuve ou chaudière chauffée à la vapeur, Cette chaudière diffère de celles employées communément à cet usage, en ce que le tiers de sa hauteur, la partie inférieure, est seule conique, le corps supérieur étant cylindrique; par cette disposition l'ébullition de la masse est plus régulière; M. Piver pense que la saponification est aussi plus rapide et plus complète.

Le savon, tiré sur les lessives et sur les matières non saponifiables qui se précipitent avec elles, est versé dans des mises, à la manière ordinaire. Il se refroidit et se prend en masse, on le dé-

bite en briques, puis on l'emmagasine en attendant les diverses préparations qu'il doit recevoir pour servir à la toilette.

Dans un grand nombre de parfumeries, l'usage persiste encore de peloter le savon à la main; des praticiens habiles croient que le travail intelligent de l'ouvrier est utile pour faire un bon produit; M. Piver, au contraire, exclut complétement le pelotage à la main comme n'étant pas toujours d'une entière propreté et nécessitant absolument la présence de 20 à 25 p. °/₀ d'eau dans le savon, qui doit alors rester plusieurs semaines au séchoir, où le parfum se perd et s'altère au contact de la pâte humide. Son moyen consiste à diviser le savon en rubans minces et légers, à le sécher rapidement et *presque entièrement* dans une étuve à courant d'air chaud, puis à le mélanger, à l'aide du hachoir rotatif, avec les parfums et les substances cosmétiques et à le broyer entre trois cylindres en granit de rotations différentes. Ainsi rendu homogène et lié, le savon est placé dans une caisse longue à fermeture hermétique; il est refoulé et chassé au moyen d'un piston que meut une puissante presse hydraulique et sort parfaitement comprimé en bandes lisses de 1^{m},60 qu'on divise d'un seul coup en vingt morceaux réguliers.

Ainsi préparé le savon conserve toute la fraîcheur de son parfum ; il peut recevoir immédiatement par compression, dans un moule en bronze gravé, formé de deux pièces, la forme définitive et la marque de fabrique pour être livré le jour même au consommateur. M. Piver prétend éviter par ce procédé tous les déchets provenant des grattages, et économiser la main-d'œuvre qu'ils nécessitent.

Alcoolats. — Les extraits d'odeurs se font avec des mélanges d'essences, de teintures aromatiques, mais surtout par le *lavage* à l'alcool des huiles et des graisses préalablement parfumées avec des fleurs fraîches. Autrefois on versait dans la moitié de la capacité d'un estagnon de l'huile parfumée et de l'alcool, par parties égales; un ouvrier agitait cet estagnon chaque jour deux ou trois fois pendant 8 ou 10 minutes; après quelques moments de repos, les deux liquides se séparaient et ne réagissaient pas plus que s'ils eussent été dans des vases séparés; l'huile s'attachait parfois aux parois, se rancissait pendant l'opération qui ne durait pas moins de 15 à 20 jours. Par le nouveau système d'agitation continue, un seul jour suffit au lavage complet;

l'économie de temps est le moindre des avantages de ce procédé; la fraîcheur et la netteté du parfum ainsi obtenu sont très-supérieures.

La parfumerie de Grasse, de Cannes et de Nice, ne s'occupe généralement que des matières premières; c'est-à-dire des huiles essentielles, des eaux odorantes et des préparations connues sous les noms d'huiles et graisses parfumées; cette industrie existe à peine à Paris; car si la variété des fleurs qu'on traite à Paris est grande, la quantité mise en œuvre est comparativement minime; elles ne servent que pour la parfumerie fine, ce sont : la fleur d'aubépine, la jacinthe, le narcisse, le lilas, le muguet, le réséda, l'œillet et l'héliotrope; on distille la rose et la fleur d'orangers, ainsi que les feuilles de géranium, les clous de girofle, les amandes amères, quelques bois et résines odorantes.

Distillation. — C'est au moyen de la distillation que l'on prépare généralement les huiles essentielles.

La distillation se fait dans des alambics ordinaires; souvent on l'opère sur place; c'est ainsi que la distillation de la lavande et de l'aspic s'effectue dans les montagnes, on installe l'alambic portatif auprès d'un cours d'eau et l'opération se poursuit comme dans les laboratoires. Quelques établissements ont des alambics perfectionnés; ce qui me surprend, c'est qu'il ne paraît pas que l'on ait cherché à varier la nature du liquide destiné à rapporter le parfum par distillation.

Les essences que l'on obtient ainsi sont les suivantes, je joins au nom le prix de chacune d'elles.

Néroly bigarrade	le kilo.	350 fr.
Néroly Portugal		200
Néroly petit grain		100
Géranium rosa		80
La menthe cultivée		90
La lavande		13
L'aspic		5
Le thym	rouge	8
	blanc	12
Le romarin		7
Le fenouil		10
L'essence de roses de Grasse		1536
L'essence de roses d'Orient		960

Comme on le voit, notre essence d'Orient est plus estimée que celle des Orientaux; cela tient sans doute à ce que nous l'épurons.

Les corps gras parfumés se préparent dans le Midi de deux manières très-différentes, selon le principe et la délicatesse des fleurs, dont les unes se traitent par infusion, les autres par enfleurage.

Préparation des graisses parfumées par infusion. — La méthode par infusion consiste à immerger les fleurs dans l'huile ou dans la graisse chaude à 65° environ; à les en retirer après quelques heures, puis à les remplacer par d'autres jusqu'à saturation de corps gras; pour obtenir un tel résultat, il faut employer jusqu'à six kilos de certaines fleurs pour un kilo de graisse; je dois encore, pour cette manipulation, emprunter à M. Piver un perfectionnement intéressant qui n'existe pas ailleurs que chez lui; j'ai le regret de le dire, l'infusion s'opère encore partout aujourd'hui comme aux temps les plus reculés.

L'appareil de M. Piver, qui rappelle un système employé pour le lessivage des soudes brutes, se compose d'une caisse rectangulaire en cuivre étamé, divisée en sept compartiments et chauffée par la vapeur. L'huile ou la graisse contenue dans un réservoir supérieur également chauffé arrive à l'état liquide par le fond du premier compartiment, traverse les fleurs, déborde, par un trop-plein, dans un conduit qui l'amène du fond du second compartiment, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'elle ait circulé jusqu'au dernier, en procédant de gauche à droite.

Les fleurs sont contenues dans des paniers en toile métallique, successivement plongés dans chaque compartiment et marchant ainsi dans un sens contraire des graisses, c'est-à-dire commençant à séjourner dans le numéro 7 placé à droite et passant de celui-là dans le numéro 6 et successivement dans tous les autres, jusqu'au compartiment placé à l'extrémité gauche; quand elles arrivent dans celui-ci, elles sont complétement épuisées, et la graisse, en sortant du numéro 7, après s'être progressivement imprégnée des aromes des fleurs fraîches, est saturée de parfum.

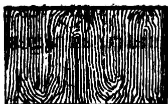
Ce lavage méthodique, s'exécutant rapidement, enlève aux fleurs tout leur parfum et ne prend rien que le parfum; un seul appareil suffit pour saturer 800 kilogrammes de graisse en un jour; l'infusion ne doit durer que le moins possible pour ne pas amener le ramollissement des fleurs, comme cela a lieu par l'ancien système.

Préparation des graisses parfumées par enfleurage. — L'enfleurage

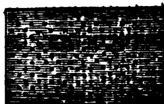
s'opérait, on le sait, au moyen de châssis superposés; sur une feuille de verre on étendait une couche de graisse sur laquelle on mettait une assise de fleurs, un second châssis était déposé sur celui qu'on venait de charger; il recevait à son tour la graisse, puis les fleurs; un troisième, un quatrième châssis, étaient disposés de la même manière; on obtenait ainsi une pile de quarante châssis; on retirait chaque jour la fleur épuisée pour en remettre de la fraîche; il fallait, en opérant ainsi, 25 ou 30 jours pour saturer la graisse.

M. Piver, à qui nous empruntons encore un nouveau procédé, dont la figure montre les dispositions, multiplie les surfaces





B



A

absorbantes de la graisse; il la divise pour cela en un léger vermicelle (B) placé sur des toiles métalliques qu'il alterne avec d'autres toiles métalliques étamées chargées de fleurs fraîches (A); le tout est fixé dans les rainures de deux armoires fermant hermétiquement et communiquant entre elles par la partie inférieure; un faible courant d'air est établi de l'une à l'autre armoire, en traversant constamment et alternativement toutes les couches de fleurs et de graisse divisées, et bientôt l'air parfumé dépose dans la graisse les principes volatils odorants, jusqu'à saturation complète; cette opération se fait en 48 heures, quand l'ancien procédé demandait trois semaines au moins, et comme il n'y a pas de contact entre la graisse et les fleurs, on évite toute coloration, toute odeur herbacée, et s'il s'agit des violettes, on peut les conserver pour l'usage médicinal.

Extraction du parfum des fleurs par le procédé Millon.

Le procédé de M. E. Millon tend à se substituer dans certaines circonstances aux procédés d'infusion et d'enfleurage, qui consistent à traiter les fleurs par les huiles ou par les graisses. M. Millon remplace ces dissolvants fixes par des dissolvants volatils, et notamment par l'éther et par le sulfure de carbone, qu'il sépare ensuite par la distillation.

En appliquant ce procédé, qu'il a approprié à la fabrication industrielle et qu'il a heureusement complété par un perfectionnement ingénieux, M. Piver a créé une classe nouvelle de parfums condensés, dont la fraîcheur et la pureté sont remarquables.

L'opération se divise en trois parties distinctes :

1° La dissolution du parfum par infusion ;
2° Distillation à basse température ;
3° Évaporation des dernières traces du dissolvant.

Pour opérer la dissolution du parfum, M. Piver se sert d'un appareil composé de trois cylindres à déplacement, aux extrémités de chacun desquels s'adaptent, par des raccords à fermeture hermétique, des récipients mobiles disposés de manière à recevoir le liquide provenant d'un cylindre, et qui doit être porté dans un autre cylindre garni de fleurs sur lesquelles il se répand.

Les fleurs reçoivent trois et parfois quatre lavages des dissol-

vants, éther, sulfure de carbone ou chloroforme. Le dissolvant varie suivant l'espèce de fleurs employées.

Le produit du troisième lavage passe de nouveau sur des fleurs lavées deux fois, puis sur celles qui ne l'ont encore été qu'une fois, puis enfin sur des fleurs nouvelles; le liquide, ayant ainsi dissous la totalité du parfum, est réuni et distillé à basse température; on le recueille dans son état de pureté, et le parfum qu'il abandonne se présente sous l'aspect d'un résidu blanc ou diversement coloré, tantôt solide, friable ou cireux, tantôt liquide, mais devenant toujours solide au bout de quelque temps.

Les dernières traces du dissolvant sont difficiles à expulser du parfum ainsi obtenu, et cette difficulté oblige à une troisième opération.

On verse le résidu dans un vase évaporateur demi-cylindrique chauffé au bain-marie, et monté sur un axe horizontal qui permet de le balancer constamment pour déplacer la masse pendant qu'un ventilateur expulse les dernières traces du dissolvant.

Il convient encore de laver l'extrait dans deux ou trois eaux légèrement alcalines, pour ne leur laisser que le parfum pur et suave de la fleur.

L'entier épanouissement et la fraîcheur absolue des fleurs sont des circonstances indispensables pour un bon résultat; certaines fleurs ne livrent leur parfum qu'après une forte insolation de quelques heures; d'autres, au contraire, doivent être cueillies avant le lever du soleil; ces données sont enseignées pour chacune par la pratique. Mais ce qui est général et très-important à noter, c'est que la plus légère altération des fleurs se décèle dans le parfum obtenu.

ÉTUDES

POUR SERVIR

A L'HISTOIRE DE LA CHIMIE

PAR M. P.-P. DEHÉRAIN.

LA DÉCOUVERTE DU CHLORE.

Le travail que nous offrons aujourd'hui au public est un nouveau fragment des études sur l'histoire de la chimie, que nous poursuivons depuis plusieurs années, il fait suite à *l'Histoire de la découverte de la composition de l'eau*[1] que la direction des *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers* a bien voulu insérer dans le premier volume de son recueil. La *découverte du chlore* se rattache aussi directement à nos recherches de laboratoire, elle forme une introduction historique à un long travail sur le chlore et sur ses composés, dont nous avons déjà publié les premiers résultats[2]; complétés et poursuivis, ces travaux formeront un ensemble qu'on ne jugera peut-être pas indigne d'être placé sous les yeux des lecteurs des *Annales*.

1. N° 2, octobre 1860.

2. Thèse pour le doctorat, 1859. — Répertoire de chimie, pour 1860-61-62-63. — Bulletin de la Société chimique de Paris, 1859-1861-62. — Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1861-62.

CHAPITRE PREMIER.

TRAVAUX DES ALCHIMISTES : GLAUBER, VAN HELMONT, ROBERT BOYLE. — DÉCOUVERTE DE L'ACIDE MURIATIQUE DÉPHLOGISTIQUÉ : SCHEELE, BERGMAN.

§ Ier. — *Les alchimistes ont-ils entrevu le chlore? Glauber, Van Helmont, Robert Boyle.*

Bien que les alchimistes aient fort négligé l'étude des gaz, et qu'au dix-septième siècle Jean Mayow[1] semble seul avoir su les recueillir convenablement, on comprendrait toutefois que le chlore, très-facile à préparer, doué d'une odeur pénétrante, d'une couleur sensible et caractéristique, possédant des propriétés dissolvantes très-énergiques, ait pu fixer l'attention des alchimistes, malgré l'ignorance où ils se trouvaient des procédés propres à l'étudier complétement.

On a cru, en effet, reconnaître le chlore dans une des substances décrites par Glauber; dans son *Histoire de la chimie*, M. Hœfer s'énonce ainsi : « Glauber paraît avoir le premier entrevu l'existence du chlore; car il dit qu'en distillant l'esprit de sel sur les chaux métalliques, cadmie et rouille de fer, il obtenait un esprit couleur de feu qui passe dans le récipient, et qui dissout tous les métaux et presque tous les minéraux. Il l'appelle huile ou esprit de sel rectifié. « Avec ce produit, on « peut, ajoute-t-il, faire de belles choses en médecine, en alchi- « mie et dans beaucoup d'arts. Lorsqu'on le fait quelque temps « digérer avec de l'esprit-de-vin déphlegmé, on remarque qu'il « se forme à la surface de la liqueur une espèce de couche hui- « leuse qui est l'huile de vin, très-agréable et très-excellent « cordial. »

Nous doutons beaucoup de la conclusion à laquelle arrive M. Hœfer; voici le passage auquel il fait allusion, tel qu'on le trouve dans la *Description des nouveaux fourneaux philosophiques ou art distillatoire*, traduit par du Theil en 1674.

1. Voyez Fourcroy, *Annales de chimie*, an X. — Hœfer, *Histoire de la chimie*. — Chevreul, *Journal des savants*. — La *Revue de l'instruction publique*, 1858, et l'*Annuaire scientifique* de l'auteur, 1re année, *Deux chimistes oubliés*.

Après avoir indiqué comment on peut préparer l'huile de zinc en chauffant de la calamine avec de l'esprit de sel, Glauber ajoute : « Cette huile, estant meslée avec sable pur et distillée par la retorte à feu violent (autrement l'esprit de sel ne voudra pas quitter la calamine), rend un esprit grandement igné, la pierre calamine restant au fond de la retorte. »

« Cet esprit est si fort, qu'il est presque impossible de le garder, il dissout tous les métaux et minéraux (excepté l'argent et le soufre); c'est pourquoi on peut préparer quantités d'excellents médicaments par son moyen, ce qui ne saurait être fait par l'esprit commun, si bien qu'il puisse être rectifiée, car, quoiqu'il soit souvent rectifié, il ne saurait être sans flegme, lequel ne peut être séparé par la rectification de même que par la pierre calamine. »

La réaction indiquée ici ne doit donner naissance qu'à de l'acide chlorhydrique très-concentré, beaucoup plus, probablement, qu'on ne l'avait habituellement, ce qui explique les effets de dissolution obtenus; elle ne produit pas de chlore, nous l'avons, au moins, répété récemment, sans avoir pu constater aucune des propriétés décolorantes de ce gaz. Au reste, si Glauber eût obtenu le chlore, en le mettant en contact avec l'alcool, il aurait fait le chloral, qui est plus lourd que l'eau, tandis qu'il ressort du passage suivant qu'il a probablement obtenu l'éther chlorhydrique, plus léger que l'alcool.

« Mesle cet esprit avec du meilleur esprit-de-vin rectifié, digère-le quelque temps, et l'esprit de sel fera séparation de l'esprit-de-vin, et l'huile de vin nagera par-dessus... »

M. Kopp[1] pense, comme nous, qu'il n'est pas possible de tirer du passage précédent la conviction que Glauber ait préparé du chlore, bien qu'il ne nie pas qu'il ait pu l'obtenir accidentellement dans d'autres circonstances.

Van Helmont[2] a observé également que l'eau régale dégage un gaz particulier qui ne peut être liquéfié, et qui, probablement, renfermait une certaine quantité de chlore; enfin Boyle[3] affirme qu'on peut préparer l'esprit de sel de telle sorte qu'il dissolve l'or.

1. *Histoire de la chimie*, 3e volume.
2. De Flatibus.
3. Tentamina quædam philosophica (1631).

On voit, dans tous les cas, que les connaissances qu'ont eues les alchimistes sur ce sujet sont très-peu étendues, il faut donc arriver jusqu'à la fin du dix-huitième siècle, jusqu'au grand chimiste suédois, Scheele, pour trouver des notions précises sur la préparation et les propriétés de l'acide marin déphlogistiqué.

§ II. — *Découverte de l'acide marin déphlogistiqué. — Scheele. Bergman.*

Guillaume Scheele naquit à Stralsund (Poméranie) le 19 décembre 1742; nous avons peu de détails sur ses premières années; nous le trouvons encore très-jeune chez l'apothicaire Bauch, à Gottembourg, où l'attirait déjà l'amour de la chimie; après avoir consacré la journée aux travaux de l'officine, il prend sur son sommeil le temps d'étudier les œuvres de Lémery et de Stahl; plus tard, d'après les conseils de Greuberg, il lit Neumann, et commence la longue série de recherches, d'essais, qui devaient rendre son nom immortel.

Doux, timide, causant peu, point brillant, préférant la médiocrité à la fortune, Scheele ne songe pas à quitter les officines des pharmaciens, malgré les offres avantageuses qui lui sont faites à différentes reprises, il passe successivement de Gottembourg à Mamoë, en 1765, puis il arrive à Stockholm en 1771; il a senti, dès lors, sa vocation; son amour pour l'étude le pousse en avant, et il commence à publier ses travaux. L'amitié de Bergmann qui date de cette époque eut, sur sa réputation, la plus heureuse influence, non-seulement il le fit nommer membre de l'Académie des sciences de Suède, mais sa haute position scientifique lui permit de faire connaître au nombreux public qui l'écoutait cette magnifique série de Mémoires qui ont tant contribué aux progrès de la chimie.

Le Mémoire sur la manganèse et ses propriétés paraît dans ce recueil, en 1774, mais ce n'est que neuf ans plus tard qu'on en fait une édition française[1]; c'est réellement de ce Mémoire, dont nous demanderons au lecteur la permission de mettre un long

1. *Mémoires de chimie*, de M. C.-W. Scheele, tirés des Mémoires de l'Académie royale des sciences de Stockholm, traduits du suédois et de l'allemand. Lyon, 1785, 2 vol. in-18.

extrait sous ses yeux, que date la découverte de l'acide marin déphlogistiqué.

Après avoir passé en revue quelques-unes des réactions les plus importantes que donne la manganèse, traitée par différents agents, Scheele étudie l'action qu'exerce sur cette substance l'acide muriatique ordinaire :

§ VI. A. — *Avec l'acide muriatique ordinaire.* « J'ai versé une once d'esprit de sel pur sur une demi-once de manganèse en poudre fine. Une heure après, l'acide s'était coloré à froid en brun foncé. J'ai fait chauffer une partie de cette dissolution en vaisseaux ouverts; elle avait l'odeur de l'eau-forte, mais un quart d'heure après, la couleur et l'odeur se sont dissipées.

B. « Le mélange brun qui restait a été mis en digestion pour essayer la saturation : dès qu'il a été chaud, il a répandu une odeur semblable à celle de l'eau-forte; il y a eu une effervescence qui a duré jusqu'au lendemain, et alors l'acide s'est trouvé saturé; j'ai versé de nouveau sur le résidu une once d'esprit de sel, les mêmes effets ont eu lieu, et la manganèse a été entièrement dissoute, à l'exception d'un peu de terre quartzeuse.

C. « J'ai partagé en deux portions cette dissolution jaune, et versé dans l'eau quelques gouttes d'acide vitriolique; en quelques minutes, elle est devenue blanche et il s'est précipité une poudre fine, insoluble dans l'eau. Elle a donné par l'évaporation quelques petits cristaux de sélénite; pour le surplus, il en a été comme de la dissolution dans l'acide nitreux.

D. « L'autre moitié a été évaporée; elle a produit de petits cristaux brillants, anguleux, et, par rapport à la cristallisation, elle s'est comportée comme la dissolution dans l'acide nitreux. »

Après avoir consacré quelques pages à l'étude de la manganèse, Scheele décrit ainsi les propriétés de l'acide muriatique déphlogistiqué :

§ XXIV. « L'acide muriatique dépouillé du phlogistique, qui est une de ses parties constituantes, ne s'unit avec l'eau qu'en très-petite quantité, et ne la rend pas fort acide; mais aussitôt qu'il rencontre une substance phlogistique, il redevient un véritable acide muriatique. C'est dans son état élastique que se découvrent le mieux les qualités de cet air; on met au bain de sable une cornue de verre, dans laquelle on a versé de l'acide muriatique sur la manganèse; on y adapte de petits ballons de la contenance d'environ 12 onces d'eau, dans lesquels on met à peu près deux gros d'eau, sans autre lut qu'une bande de

papier gris au col de la cornue : au bout d'un quart d'heure, on aperçoit l'air jaune dans ce ballon qu'on enlève. Si le papier a été bien posé, l'air sort avec force ; on ferme aussitôt le ballon et on en met un autre.

« On peut ainsi remplir plusieurs ballons avec l'acide muriatique déphlogistiqué ; mais il faut arranger la cornue de manière que les gouttes qui s'élèveraient jusqu'à son col puissent y retomber. L'eau sert à retenir les vapeurs de l'acide. Je prends plusieurs ballons pour n'être pas obligé de répéter à chaque expérience une pareille distillation. Il ne faut pas en employer de gros, parce que chaque fois qu'on les ouvre, il se dissipe à l'air une bonne partie de l'acide. »

S'il était possible dans ce mémoire de remplacer le mot phlogistique par le mot air inflammable, hydrogène, on arriverait à conclure que les idées de Scheele sont presque semblables à nos opinions actuelles ; on doit se rappeler, de plus, que l'identité du phlogistique et de l'air inflammable a été soutenue très-sérieusement à l'époque où nous nous reportons ; nous avons rappelé cette discussion dans un travail précédent[1]. Mais ce serait aller au delà des faits que de croire que pour Scheele comme pour nous, la partie phlogistique, combustible de l'acide muriatique, est de l'hydrogène ; il dit seulement que l'acide muriatique est susceptible de perdre sa partie combustible, son phlogistique, et d'acquérir dès lors des propriétés nouvelles qu'il examine avec grand soin. D'après lui, une substance phlogistiquée quelconque est capable de rendre à l'acide muriatique le phlogistique que lui a enlevé la manganèse et par conséquent de le rétablir à son état primitif ; aussi l'idée de Scheele sur la constitution de l'acide muriatique déphlogistiqué est-elle moins précise qu'on pourrait le croire d'abord.

§ XXV. « Ce que j'ai soumis à l'examen dans cet acide muriatique déphlogistiqué était dans le col du ballon que j'avais bouché.

A. « Le bouchon a jauni comme par l'eau-forte.

B. « Le papier bleu de tournesol est devenu presque blanc ; toutes les fleurs rouges, bleues et jaunes, même les plantes vertes, ont jauni en peu de temps, et l'eau du ballon a été changée en un pur acide muriatique faible.

C. « Les alcalis ni les acides n'ont pu rétablir les couleurs des fleurs et des plantes.

D. « Les huiles exprimées et les graisses animales qu'on a exposées

1. *Annales du Conservatoire*, tome I[er], page 401.

dans le col du ballon, ou dont on l'a enduit, ont pris en peu de temps la consistance de la térébenthine.

E. « Le cinabre a blanchi à sa surface, et, lavé dans l'eau, y a laissé une dissolution de muriate mercuriel corrosif, mais le soufre n'a pas été altéré.

F. « Le vitriol de mars est devenu rouge et déliquescent; ceux de cuivre et de zinc n'ont pas changé.

G. « La limaille de fer qu'on avait mise dans le ballon y a été dissoute; lorsqu'on a évaporé la dissolution jusqu'à siccité et distillé avec l'acide vitriolique, il a passé de l'acide muriatique pur qui ne dissolvait pas l'or.

H. « Tous les métaux ont été attaqués; c'est une chose à remarquer relativement à l'or, que sa dissolution dans cet acide déphlogistiqué donne avec l'alcali volatil de l'or fulminant.

I. « Si l'on met au col du ballon quelques gouttes d'esprit de sel ammoniac préparé par la chaux, on aperçoit un nuage blanc, des bulles d'air qui s'échappent de ces gouttes et produisent cette vapeur en crevant.

K. « L'alcali fixe a formé du sel commun, qui a décrépité sur les charbons, mais n'a point détoné.

L. « Dans cet acide, l'arsenic blanc est devenu déliquescent.

M. « Les insectes y sont morts sur-le-champ.

N. « Le feu s'est éteint sur-le-champ.

§ XXVI. « Ceci prouve assez l'affinité puissante de l'acide muriatique déphlogistiqué. Peut-être Stahl l'obtint-il par le moyen du fer, et crut-il l'acide muriatique changé en acide nitreux. Si l'on met digérer pendant quelques jours, dans un flacon bien bouché de la manganèse en poudre avec de l'acide muriatique ou de l'acide vitriolique et de l'esprit-de-vin très-rectifié, il n'y a point d'effervescence lorsqu'on distille doucement : mais ce qui est remarquable, c'est que l'esprit-de-vin passe avec une forte odeur qui approche beaucoup de l'éther nitreux; le résidu perd son goût acide et se trouve saturé par la manganèse. Si l'on ajoute des métaux, du sable, de l'huile de lin ou de térébenthine à un mélange de manganèse et d'acide muriatique, il n'en résulte point d'acide muriatique déphlogistiqué, parce qu'il y a assez de phlogistique dans ces substances pour s'unir à cet acide élastique.

Scheele observe encore que, lorsqu'on distille de l'acide muriatique sur du minium, on obtient un liquide qui a l'odeur d'eau régale et qui dissout l'or. Les rapprochements qui existent entre les sels ordinaires et les muriates lui font considérer ces derniers comme formés de la combinaison de chaux métalliques et d'acide muriatique.

Dans ce travail, Scheele découvre presque toutes les propriétés importantes de la nouvelle substance isolée; il montre son talent d'expérimentation, sa finesse d'observation en caractérisant l'acide muriatique déphlogistiqué comme décolorant, comme agent de dissolution; il découvre les propriétés oxydantes qu'il exerce sur les sels de fer et sur l'acide arsénieux, sans toutefois les expliquer comme nous savons le faire aujourd'hui.

On ne peut cependant le louer sans restrictions, car l'une des propriétés les plus importantes du nouveau gaz n'est que très-légèrement étudiée.

« Le feu s'y éteint sur-le-champ, » dit-il; sans doute, le charbon s'y éteint, mais le phosphore, l'étain, le cuivre, l'antimoine, l'arsenic, brûlent parfaitement dans l'acide muriatique déphlogistiqué, et on peut s'étonner que Scheele ne l'ait pas observé; d'autant plus que ce mot de déphlogistiqué, qui fait partie du nom de la nouvelle substance, semblait indiquer une substance capable de reprendre du phlogistique, une substance comburante, par conséquent. A part cette critique, il faut reconnaître que l'idée que Scheele se fait du gaz acide muriatique déphlogistiqué est très-voisine de celle que nous en avons nous-mêmes aujourd'hui.

Pour lui, l'acide muriatique déphlogistiqué est de l'acide muriatique, moins le phlogistique, moins sa partie combustible, ce que nous pensons aussi; et si le mot hydrogène pouvait être substitué à phlogistique, l'identité entre les deux théories serait complète.

Pour lui l'acide muriatique est un corps complet, une substance dans laquelle les molécules sont dans un état d'équilibre assez stable; cet équilibre est rompu quand on enlève à cet acide muriatique son phlogistique; on en fait alors un agent incomplet, tendant toujours et partout à reprendre ce phlogistique, ayant donc la propriété d'enlever le phlogistique aux métaux pour les convertir en chaux métalliques et les dissoudre.

Nous expliquons la dissolution plus facile de l'or dans le chlore que dans l'acide chlorhydrique, en disant que, dans un cas, le chlore isolé a des affinités plus puissantes, tend à se compléter plus énergiquement, à s'unir plus facilement avec des substances combustibles, avec des métaux, que lorsqu'il est

déjà saturé en partie par l'hydrogène; Scheele ne dit pas autre chose: l'acide muriatique, saturé de phlogistique, est un dissolvant médiocre, un agent d'une puissance moyenne; enlevez-lui ce phlogistique, vous le mettez dans un état particulièrement propre à la combinaison, puisqu'il tendra toujours à se charger d'une substance combustible, de phlogistique.

On pourrait s'étonner de ne pas voir le chimiste suédois se prononcer sur la nature simple ou composée du gaz qu'il vient de découvrir, si on ne savait que Lavoisier n'a pas encore appelé l'attention des chimistes sur cette distinction si importante à établir parmi les substances naturelles.

Dans ce Mémoire, Scheele révèle le caractère qu'il portera dans toutes ses œuvres, talent d'expérimentation admirable, sagacité merveilleuse pour déduire des faits ce qu'ils recèlent immédiatement, associé à une soumission fâcheuse aux idées reçues, une obéissance aveugle aux règles établies, aux théories en vigueur. On voit mieux encore combien lui fut fatal ce manque d'initiative dans son Traité de l'air et du feu, quand, à l'aide de ses expériences nombreuses et variées, il a réuni tous les éléments nécessaires pour arriver à une connaissance complète des phénomènes chimiques de la combustion, et cependant il laisse échapper la solution[1].

Scheele n'avait, au reste, aucune des qualités d'un réformateur; c'était un esprit trop timide, trop doux, trop pacifique, pour se lancer dans les grandes aventures; il s'arrête à deux pas de la vérité; pour la saisir il fallait un dernier effort, il n'en fut pas capable. Il eût fallu, pour aller plus avant, du scepticisme, de l'audace, le besoin de ne rien croire sur parole, une grande confiance dans sa force et dans son influence; Scheele était tout autre. Ce grand chimiste fut toujours un pauvre pharmacien, l'obscurité de sa naissance, sa pauvreté continuelle, son amour pour l'obscurité, ne lui permirent pas plus de sortir d'une sphère médiocre dans sa vie que dans ses œuvres; elles lui interdirent d'aspirer aux hautes régions de la science, ou, s'il le tenta, ce fut faiblement et comme en dehors de son domaine.

« Pauvreté empesche les bons esprits de parvenir, » était la

1. Voyez *Annuaire scientifique*, 2e année. La composition de l'atmosphère.

devise de Bernard de Palissy; elle convient à Scheele; plus riche, plus indépendant, n'émiettant pas son génie aux labeurs mesquins qui amènent le pain de chaque jour, ayant reçu une éducation plus large, il se serait formé un esprit plus critique, moins docile, et il eût peut-être commencé de son côté la grande réforme qui restera la gloire immortelle de Lavoisier.

Sa part, au reste, est assez belle, il a doté les chimistes d'un agent d'une immense puissance, dont l'emploi industriel et chimique est de chaque jour; et quand bien même il se fût arrêté là, il aurait assez fait pour que son nom, profondément creusé dans l'édifice de la science, ne fût jamais effacé.

Mais Scheele n'est pas de ceux qu'un travail seul fait passer à la postérité.

On lui doit encore un grand nombre de mémoires des plus remarquables; en chimie organique, on rencontre à chaque pas des traces de son passage, et les substances qu'il a caractérisées et isolées sont extrêmement nombreuses[1]. Il est probable qu'aucun chimiste n'a découvert autant de substances que lui.

Sa réputation se fit lentement, et on commençait à peine à le connaître en France, quand il mourut, le 22 mai 1786, à l'âge de quarante-quatre ans; ce fut une perte immense. Si Scheele a pu faire un nombre prodigieux de découvertes quand il n'avait pour guide que l'expérience et pour lumière que la pâle théorie du phlogistique, que n'aurait-il pas fait lorsqu'il eût été éclairé, guidé par la méthode sûre, logique, invincible, dont Lavoisier commençait à enseigner les préceptes ?

Si la mort n'a pas laissé à Scheele le temps de mettre au jour toutes les découvertes que son génie promettait, elle ne l'a pas enlevé assez tôt pour que sa vie ne reste pas un des modèles que

1. Le Mémoire sur la manganèse dont nous avons donné le fragment qui se rapporte au sujet spécial que nous traitons, renferme, outre le procédé propre à isoler l'acide muriatique déphlogistiqué et la description de ses propriétés, la démonstration de l'existence dans la manganèse d'un métal spécial, tout à fait différent de ceux qu'on connaît; que Scheele n'a pas isolé cependant, mais dont les combinaisons sont assez caractérisées pour qu'il n'y ait pas de doute à cet égard. Enfin Scheele distingue parfaitement encore de la chaux, une terre que Bergmann étudia plus tard et qui reçut le nom de baryte; de sorte qu'en définitive, ce Mémoire renferme la découverte de l'acide muriatique déphlogistiqué, de la baryte, et la distinction de la manganèse de toutes les autres terres métalliques.

les savants doivent s'efforcer de suivre; elle s'est passée dans la médiocrité et loin du monde, elle a été remplie par le travail.

A côté de Scheele, un peu oublié aujourd'hui, mais bien plus célèbre alors, Bergmann enrichissait de ses travaux l'Académie des sciences de Stockholm; il adopta la théorie de son ami sur l'acide muriatique déphlogistiqué, et n'ajouta rien d'essentiel sur ses propriétés dans le court paragraphe qu'il lui consacre dans ses *Opuscules chimiques*[1].

CHAPITRE DEUXIÈME.

RÉFORME DE LAVOISIER. — ABANDON DE LA THÉORIE DU PHLOGISTIQUE. — L'ACIDE MURIATIQUE DÉPHLOGISTIQUÉ EST DE L'ACIDE MURIATIQUE OXYGÉNÉ. — ÉTUDE DE SES PROPRIÉTÉS DÉCOLORANTES. — LEUR APPLICATION DANS LE BLANCHIMENT DES TISSUS. — BERTHOLLET : L'ACIDE MURIATIQUE OXYGÉNÉ EST COMBURANT. — FOURCROY.

§ Ier. — *Réforme de Lavoisier. Abandon de la théorie du phlogistique.*

L'année 1774 restera à jamais mémorable dans les fastes de la chimie; les trois grands acteurs de la fin du siècle semblent s'y donner rendez-vous pour apporter à la science un de leurs travaux les plus précieux par leur fécondité. Priestley découvre l'oxygène, Scheele le chlore, et Lavoisier publie ses *Opuscules physiques et chimiques*, et commence sa grande réforme qui porte d'abord la science, de l'état vague, incertain, où elle se trouvait, au degré de précision, de certitude, où nous n'avons plus qu'à la maintenir.

Priestley et Scheele étaient à coup sûr des hommes de laboratoire admirables; ils avaient au plus haut degré, l'un et l'autre, l'instinct chimique; Scheele, surtout, a éclairé toutes les questions qu'il a touchées, et le nombre des substances qu'il a isolées, caractérisées, décrites, est, comme nous l'avons vu, prodigieux. Lavoisier, cependant, les dépasse de beaucoup l'un et l'autre; si son nom se rattache à la découverte d'un plus petit nombre de substances, la cause en est surtout dans l'exactitude qu'il ap-

1. Opuscula physica et chemica. N. Ed. Leipzig, 1788, tome III, page 351.

portait à ses recherches, au temps plus long qu'il y consacrait; il s'est mesuré avec les questions les plus difficiles, les plus hardues, et en a triomphé; toutes les fois qu'il se rencontre sur le même terrain que ses deux rivaux, on voit d'abord combien son esprit est plus grand, plus précis, le point de vue plus élevé; là où les autres ne rencontrent qu'une expérience heureuse, il trouve la base même de la science. S'il a isolé moins de matières que ses rivaux anglais et suédois, il a fait mille fois plus, il a donné la méthode à l'aide de laquelle on a découvert des milliers de corps nouveaux; il a de ses mains puissantes forgé ce nouveau levier à l'aide duquel chacun va attaquer vaillamment ce dur roc de l'inconnu, sur lequel s'acharnent si vigoureusement nos générations actuelles.

Dès 1774, Lavoisier commence cette rude guerre au système de Stahl, à son hypothèse du phlogistique, que Priestley et Scheele acceptent si facilement, et bientôt, sous ses coups redoublés, tout l'échafaudage péniblement élevé, cède, s'affaisse et s'écroule lourdement, laissant le champ libre.

Lavoisier, le premier, distingue complétement le feu d'avec les gaz; on les avait toujours associés, attribuant à l'un et aux autres des propriétés analogues, les faisant à la fois *légers* ou lourds, c'est-à-dire doués d'un mouvement vers le haut, ou au contraire attirés par la force de pesanteur. A l'aide de la balance qu'il introduit au laboratoire, et qui n'en sortira plus, il peut faire nettement cette distinction, et entrevoir ce principe qu'il formulera plus tard avec tant de netteté, et qui est la base même de la science.

« Rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principes que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération; que la qualité et la quantité des principes est la même, et qu'il n'y a que des changements, des modifications.

« C'est sur ce principe qu'est fondé tout l'art de faire des expériences en chimie. »

Il aborde la discussion qu'il doit poursuivre pendant près de dix années par des expériences sur les chaux métalliques; il les réduit par le charbon, il revivifie le métal, puis ce métal isolé est calciné à l'air, le voit augmenter de poids, et, pour la première fois, renversant l'explication donnée par Stahl, il montre que

lorsque le charbon réduit une chaux métallique, c'est en lui enlevant l'air qui s'est fixé sur le métal au moment de la calcination. Sur cette question la science se trouve ainsi ramenée au point où l'avait laissée Jean Rey[1] en 1630; il n'a pas fallu moins d'un siècle et demi pour revenir à ce point de départ, triste preuve de l'oubli fâcheux où étaient restés les essais du chimiste périgourdin.

Quand Lavoisier obtient l'oxygène par la méthode indiquée par Priestley, l'explication du problème de la combustion surgit à ses yeux; elle l'illumine, la lumière entrevue jusqu'alors éclate tout à coup, et sans hésiter il peut écrire que si toutes les chaux métalliques étaient susceptibles de se réduire sans addition de charbon, elles donneraient toutes de l'air vital, de l'oxygène. La suite lui a donné raison; et cette question de la combustion est tellement capitale, qu'une fois éclaircie, sa lumière rayonne de toutes parts, les difficultés sont levées comme par enchantement, le langage se fonde, la science s'établit solidement sur ses nouvelles bases, et Lavoisier écrit enfin : « Le phlogistique de Stahl est un être imaginaire, dont il a supposé gratuitement l'existence dans tous les métaux, dans le soufre, dans le phosphore, dans tous les corps combustibles; tous les phénomènes de la combustion et de la calcination s'expliquent d'une manière beaucoup plus simple et beaucoup plus facile sans phlogistique qu'avec le phlogistique. »

C'est le propre de l'esprit humain d'aimer les généralisations; Lavoisier, quel que fût son génie, était homme; il a donc pu se tromper en poussant son système à l'extrémité. C'est ainsi qu'ayant produit les acides carbonique, phosphorique, sulfurique, à l'aide de l'oxygène et d'autres corps simples, il ne doute pas que l'acide muriatique ne soit oxygéné; c'est ainsi qu'ayant constamment sous les yeux des combustions alimentées par l'oxygène, il pense que ce gaz est indispensable à la production de ce phénomène, et qu'une flamme provient toujours de la matière, de la chaleur et de la lumière combinée au gaz oxygène, et s'en séparant au moment où celui-ci contracte une nouvelle union.

N'oublions pas, cependant, avant de condamner l'entraîne-

1. Voyez P. P. Dehérain. *Annuaire scientifique*, 1re année.

ment qui conduit Lavoisier à une exagération de théorie, qu'il a écrit ces paroles mémorables, dont les savants doivent se souvenir toujours pour garder le plus précieux de tous les biens, l'indépendance d'esprit : « Les systèmes de physique ne sont que des instruments propres à soulager la faiblesse de nos organes; ce sont, à proprement parler, des méthodes d'approximation qui nous mettent sur la voie de la solution du problème; ce sont des hypothèses qui, successivement modifiées, corrigées et changées, à mesure qu'elles sont démenties par l'expérience, doivent nous conduire immanquablement un jour, à force d'exclusions et d'éliminations, à la connaissance des vraies lois de la nature. »

C'est donc entraîné, ébloui par la découverte de l'oxygène, par les conséquences qu'on en avait tirées, oubliant un peu les sages préceptes que le maître avait donnés, que les chimistes reviennent à l'étude de l'acide muriatique déphlogistiqué de Scheele, et tout en l'appliquant à une grande industrie qui naît sous leur inspiration, arrivent à des conclusions erronées sur sa constitution.

§ II. — *L'acide muriatique déphlogistiqué est de l'acide muriatique oxygéné. Berthollet.*

Il y avait déjà plus de dix ans que Scheele avait découvert l'acide muriatique déphlogistiqué, quand on commença de s'en occuper en France. Ce travail fut entrepris par Berthollet.

Ce célèbre chimiste, d'une ancienne famille française, et que nous avons le droit de réclamer comme notre compatriote, naquit le 9 décembre 1748 au bourg de Talloire, près d'Annecy, en Savoie. Il montra dès son enfance un goût très-vif pour l'étude, et, au moment de choisir une carrière, il se décida pour la médecine, alla étudier à Turin, où il fut reçu docteur en 1770. Paris exerçait déjà, sur tous les amis des lettres, cette attraction qui est devenue si vive aujourd'hui; aussi, en 1772, nous trouvons déjà Berthollet à Paris, très-assidu aux cours publics, mais fort empêché, quant à la vie matérielle, dans cette grande ville où il a peu de connaissances. La fortune voulut cependant qu'il rencontrât le célèbre médecin Tronchin, qui lui valut l'appui du duc d'Orléans. Ayant plus de sécurité, plus de loisir,

Berthollet put, dès lors, se livrer avec ardeur à l'étude de la chimie, et bientôt les travaux qu'il adressa à l'Académie des sciences lui valurent une juste réputation. La science était, comme nous l'avons vu, dans sa période de transformation; les uns prenaient parti pour les idées nouvelles émises par Lavoisier, les autres, au contraire, défendaient encore la théorie du phlogistique, et parmi ceux-ci Berthollet se plaçait au premier rang; il ne céda qu'un des derniers; en 1780, il fut nommé membre de l'Académie au fauteuil que venait de laisser vaquant Buquet, le collaborateur de Lavoisier, et, en 1784, Macquer, alors commissaire pour la direction des teintures, étant venu à mourir, Berthollet fut désigné pour le remplacer.

Il montra bien vite qu'il était digne de la position qu'on lui avait faite; car c'est l'année suivante, en 1785, que Berthollet insère aux Mémoires de l'Académie des sciences ses études sur l'acide marin déphlogistiqué, d'où vont dater ses recherches sur le blanchiment.

Il rappelle d'abord la découverte de Scheele, l'explication qu'il a donnée des propriétés de l'acide marin déphlogistiqué, enfin l'appui que Bergmann a apporté à cette théorie.

« M. Bergman, dit-il, adopta la théorie de M. Scheele; il regarda avec lui la manganèse comme une substance très-avide de phlogistique, et il pensa qu'elle enlève ce principe à l'acide marin, qui par là acquiert les propriétés qui caractérisent l'acide marin déphlogistiqué, et que ce gaz agit sur les substances qui contiennent le phlogistique en leur enlevant ce principe. C'est à ces deux illustres chimistes qu'on devait les principales et presque les seules notions qu'on eût sur l'acide marin déphlogistiqué, lorsque je m'en occupai. »

Après avoir obtenu la dissolution aqueuse de l'acide marin déphlogistiqué, il y remarqua une cristallisation abondante, quand cette dissolution est exposée au froid; c'est cette cristallisation que nous nommons aujourd'hui hydrate de chlore.

Berthollet étudie ensuite l'action de l'acide marin déphlogistiqué sur les bases.

« Il ne fait point effervescence avec la dissolution de l'alcali fixe. Cependant les alcalis fixes contractent une adhérence et se combinent avec lui; car ils lui font perdre, ainsi que la chaux, sa couleur et une grande partie de son odeur. Si, après avoir ajouté de l'alcali, on y verse de l'acide acéteux, aussitôt on voit se produire une vive effer-

vescence, comme si l'alcali était simplement dissous dans l'eau, et l'odeur reprend toute sa vivacité..... »

« On peut donc, à ce qu'il me paraît, regarder l'acide marin déphlogistiqué comme presque entièrement dépourvu d'acidité. MM. Scheele et Bergmann n'ont pu reconnaître cette propriété essentielle, parce que, dans le procédé qu'ils ont employé, l'eau des vaisseaux dans lesquels ils recevaient le gaz ne pouvait contenir qu'une très-faible partie d'acide marin déphlogistiqué mêlé à une partie d'acide marin qui passe toujours à la distillation..... »

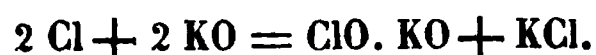
Berthollet rapporte ensuite une expérience fondamentale pour la nouvelle théorie qu'il va proposer : en faisant bouillir dans l'alcali minéral une dissolution d'acide marin déphlogistiqué, il a obtenu une effervescence due à un mélange de gaz acide carbonique, azote, et enfin oxygène pur; il n'hésite pas à ajouter : « L'air vital est dû à l'acide marin déphlogistiqué[1]. »

Cette conclusion se fortifie encore par l'expérience très-ingénieuse qu'il tente sur la manganèse; Scheele a démontré déjà, depuis plus de dix ans, qu'en chauffant de la manganèse, on en tire l'air vital; si l'acide marin déphlogistiqué est une matière oxygénée qui prend à la manganèse son oxygène, il est très-probable qu'en cherchant à le préparer à l'aide d'une manganèse déjà calcinée, dépouillée d'oxygène par l'action du feu, on ne réussira pas, ou du moins qu'on n'aura que très-peu du gaz cherché.

Berthollet tente cet essai, et l'expérience le confirme dans son opinion : la manganèse ne donne, après sa calcination, qu'une quantité d'acide muriatique oxygéné beaucoup plus faible que lorsqu'on l'emploie à l'état naturel.

« J'ai calciné, dit-il, à grand feu de la manganèse dans un appareil pneumato-chimique; j'en ai retiré, comme on l'avait déjà observé, une grande quantité d'air vital; elle a perdu un huitième de son poids. Dans cet état, je l'ai traitée avec l'acide marin, et j'en ai retiré beaucoup moins d'acide marin déphlogistiqué.

1. Tous les chimistes savent que lorsqu'on fait passer du chlore dans une dissolution de potasse ou de soude étendue, il se fait un hypochlorite très-instable, qui peut se décomposer facilement à l'ébullition et dégageant de l'oxygène. Les équations suivantes rendent compte de ces réactions :



$$2\,Cl + 2\,KO = ClO.KO + KCl.$$



$$ClO.KO = KCl + 2O.$$

« C'est donc à l'air vital de la manganèse, qui se combine avec l'acide marin, qu'est due la formation de l'acide marin déphlogistiqué; je dois avertir que cette théorie a été pressentie et annoncée depuis longtemps par M. Lavoisier, et que M. de Fourcroy en a fait usage, dans ses Éléments de chimie et d'histoire naturelle, pour expliquer les propriétés de l'acide marin déphlogistiqué, telles qu'on les connaissait alors. »

Nous l'avons dit, tous les chimistes de l'école de Lavoisier n'hésitèrent pas à étendre à l'acide marin la composition que l'expérience leur avait révélée pour les acides qu'ils avaient analysés et qui tous renfermaient de l'oxygène; pour eux le muriate de soude devint un sel exactement analogue au sulfate de soude, Scheele, au reste, avait eu une opinion semblable sur la constitution identique des sels que donnent l'acide marin, ou les acides vitriolique, nitreux, etc.

Du moment que l'acide marin était oxygéné, l'acide muriatique déphlogistiqué devenait forcément de l'acide muriatique sur-oxygéné; l'opinion nouvelle n'étant, pour ainsi dire, que la traduction en nouveau langage de la constitution attribuée précédemment à cette substance. Cette opinion se trouva, au reste, confirmée par un grand nombre d'expériences, qui s'appliquaient à la nouvelle hypothèse, de manière à faire illusion aux plus habiles. Les deux suivantes, citées par Berthollet, sont surtout remarquables :

« ..... Ces expériences doivent dissiper les doutes qui pouvaient rester sur la nature de l'acide marin déphlogistiqué; il est manifestement dû à la combinaison de l'air vital avec l'acide marin; mais l'air vital y est privé d'une partie du principe de l'élasticité, et il adhère si faiblement à l'acide marin que l'action de la lumière suffit pour l'en dégager promptement, parce qu'elle a avec sa base plus d'affinité que l'acide marin.....

« L'acide marin déphlogistiqué dissout le fer et le zinc, sans qu'il se dégage aucun gaz et de la même manière que l'eau dissout du sel : pour que ces métaux se dissolvent dans un acide, il faut donc simplement qu'ils s'unissent à une portion d'air vital, ainsi que l'a prouvé M. Lavoisier; et comme l'acide marin déphlogistiqué peut leur fournir la portion d'air vital nécessaire lorsqu'il les dissout, il ne se fait point de décomposition de l'eau et il ne se produit point de gaz inflammable. »

On comprend très-bien que dans le premier cas, l'eau est décomposée sous l'influence du chlore isolé, il se forme de

l'acide chlorhydrique, et l'oxygène est dégagé; que dans le second, le chlore, corps simple, s'unit directement avec les métaux, pour donner des chlorures et non des muriates oxygénés, ainsi qu'on le supposait; mais il faut avouer qu'il était facile de s'y tromper.

Plus loin, Berthollet rapporte ses expériences sur les propriétés décolorantes de l'acide marin oxygéné, sans avoir encore l'idée d'appliquer en grand ces qualités remarquables :

« ..... Parmi les couleurs végétales, celle du sirop violet est détruite à l'instant, celle du tournesol de même; mais il reste à cette dernière une nuance de jaune qui résiste quelque temps à l'action de la liqueur; la même chose a lieu pour la partie colorante du bois de Pernambouc et surtout de la garance. L'acide marin déphlogistiqué perd ses propriétés en agissant sur les parties colorantes, et il reprend celles de l'acide marin; de sorte que les parties colorantes se combinent avec l'air vital et l'enlèvent à l'acide marin. »

Enfin, en terminant, il s'énonce ainsi :

« ..... Après les éclaircissements que je viens de donner, je crois qu'il me suffit d'indiquer les réponses qu'on peut faire à quelques-unes des difficultés que le savant chimiste de Dijon [1] a pensé ne pouvoir se résoudre que par la supposition du phlogistique. La manganèse traitée au feu donne une grande quantité d'air vital; elle perd par là une partie de sa couleur noire; cependant elle reste brune; elle ne peut se dissoudre dans un acide, à moins qu'elle ne perde une partie de son air; de là vient que l'acide vitriolique en dégage une grande quantité d'air vital lorsqu'il l'a dissoute... Si l'acide qui dissout la manganèse a lui-même une certaine affinité avec l'air, pendant qu'une partie s'unit à la manganèse, une autre partie se combine avec l'air qui s'en dégage, et c'est ce qui a lieu lorsqu'on traite l'acide marin avec cette substance. »

Enfin Berthollet revient ici sur l'expérience remarquable dont nous avons parlé plus haut, et qui lui paraît apporter à son hypothèse un nouveau cachet de certitude :

« Si l'on remplit d'eau imprégnée de gaz acide muriatique oxygéné un flacon dont une tubulure prolongée et recourbée plonge dans un récipient rempli d'eau, et si ce flacon est exposé à la lumière

1. Guyton de Morveau, qui, dans son *Dictionnaire de chimie*, soutenait encore que l'acide muriatique oxygéné renfermait du phlogistique.

du soleil, on voit bientôt s'en dégager des bulles qui passent dans le récipient, et qui sont de l'air pur, de l'air vital ou gaz oxygène.

« Lorsque les bulles ont cessé de se dégager, la liqueur a perdu son odeur, sa couleur et toutes ses propriétés distinctives; ce n'est qu'une eau imprégnée d'acide muriatique ordinaire. Cette expérience simple doit suffire pour se convaincre que l'acide muriatique oxygéné n'est réellement qu'une combinaison de l'acide muriatique avec la base de l'air vital ou oxygène qui se trouve en telle quantité dans l'oxyde noir de manganèse, qu'il suffit de pousser cet oxyde à un grand feu pour en retirer une grande quantité, et alors il n'est plus propre à former de l'acide muriatique oxygéné, parce qu'il est dépouillé de cette partie d'oxygène qui devait se combiner avec une partie de l'acide muriatique [1]. »

Cette expérience paraît, en effet, bien convaincante, et tout le monde s'y serait trompé; remarquons, surtout, que nous sommes en 1785, que la composition de l'eau n'a été trouvée que depuis deux ans, que les chimistes ne sont pas habitués à la voir intervenir dans les réactions, enfin et surtout, que Berthollet a admis, *à priori*, que l'acide muriatique était oxygéné.

Ne serait-on pas tenté de répéter avec ce savant morose : « Quand on veut soulever un coin du voile qui couvre la vérité, il semble qu'elle dise avec colère : Non, non, non ! »

Dans le mémoire dont nous venons de donner un long extrait, Berthollet, tout en reconnaissant les propriétés dissolvantes du gaz qu'il étudie, ne songe pas encore à les utiliser; peu à peu, cependant, son attention se fixe sur ces propriétés remarquables. Sa place de commissaire pour la direction des teintures excite encore son zèle, et, quatre ans plus tard, il publie le mémoire d'où découle une des plus belles industries auxquelles la science ait donné naissance.

Berthollet rappelle dans ce travail que Scheele a déjà observé l'action remarquable de l'acide marin déphlogistiqué sur les matières colorantes; puis il continue ainsi [2] :

« Après avoir observé l'action qu'exerce en général l'acide muriatique oxygéné sur les parties colorantes, je pensai qu'il pourrait produire le même effet sur celles qui colorent les fils et toiles, et que l'on a pour objet de détruire ou de séparer dans le blanchiment.... »

1. Le Mémoire de 1785 renferme un paragraphe analogue à celui-ci, qui est extrait du Mémoire de 1789. Nous l'avons choisi à cause de sa clarté.

2. *Annales de Chimie*, tome II, 1789, page 151.

Berthollet entre ensuite dans le détail de ses essais, il s'efforce d'abord d'obtenir le blanchiment avec les liqueurs chargées d'acide muriatique oxygéné employées seules ; mais il s'aperçoit que la fibre elle-même est attaquée, et que même la couleur blanche ne se maintient pas, et tourne rapidement au jaune, surtout sous l'influence d'une lessive alcaline.

« Je réfléchis sur les circonstances du blanchiment ordinaire, et je tâchai d'en imiter les procédés, parce que je pensai que l'acide muriatique oxygéné devait agir comme l'exposition des toiles sur les prés, qui seule ne suffit pas, mais qui paraît seulement disposer les parties colorantes de la toile à être dissoutes par l'alcali des lessives. J'examinai la rosée, soit celle qui se précipite de l'atmosphère, soit celle qui vient de la transpiration nocturne des plantes, et j'observai que l'une et l'autre étaient saturées d'oxygène au point de détruire la couleur d'un papier teint faiblement par le tournesol..... »

« J'employai donc alternativement des lessives et l'action de l'acide muriatique oxygéné ; alors j'obtins un blanc solide ; et comme sur la fin du blanchiment ordinaire on passe les toiles dans du lait aigri ou dans de l'acide sulfurique étendu d'une grande quantité d'eau, j'essayai aussi de passer les toiles dans une dissolution très-étendue d'acide sulfurique, et j'observai que le blanc en prenait plus d'éclat.

« Dès que je fis usage des lessives intermédiaires, j'appris qu'il n'était point nécessaire d'employer une liqueur concentrée, et d'y laisser à chaque immersion les toiles longtemps plongées; par là, j'évitai deux inconvénients qui auraient rendu ce procédé impossible à pratiquer en grand. Le premier est l'odeur suffocante de la liqueur, qu'il serait très-incommode et même très-dangereux de respirer longtemps, odeur qui a découragé plusieurs personnes qui ont tenté de s'en servir. Le second est le danger d'affaiblir les toiles. Je renonçai aussi à cette époque à mêler de l'alcali avec l'acide muriatique oxygéné, ainsi que je l'avais pratiqué dans mes premiers essais.

« Voilà à peu près le terme où en étaient mes expériences, lorsque je fis les essais en présence du célèbre M. Watt. Un coup d'œil suffit à un physicien dont le génie s'est exercé si longtemps sur les arts. Bientôt M. Watt m'écrivit d'Angleterre que dans une première opération il avait blanchi cinq cents pièces de toile chez M. Grégor, qui a une grande blanchisserie à Glascow, et qui continue à faire usage du nouveau procédé. »

Les essais se continuent en France avec des chances diverses; Berthollet s'efforce de simplifier la préparation du gaz muria-

tique oxygéné, et il arrive à donner pour la préparation industrielle les proportions suivantes :

Six onces d'oxyde de manganèse réduit en poudre;
Une livre de sel marin également réduit en poudre;
Douze onces d'acide sulfurique ou vitriolique concentré;
De huit à douze onces d'eau.

Le gaz produit se rend dans un flacon laveur, puis dans un grand tonneau rempli d'eau et portant des tablettes horizontales munies d'un rebord inférieur qui s'enfonce de quelques pouces au-dessous d'elles, de façon que le gaz qui vient s'y loger ne peut sortir qu'après s'être accumulé au-dessous des tablettes sur une épaisseur égale à celle dont descendent les rebords. Cette disposition, laissant le gaz plus longtemps en contact avec l'eau, permet d'obtenir une dissolution plus concentrée.

Berthollet continue en recommandant un certain nombre de précautions relatives à la concentration des liqueurs que l'expérience lui a appris être fort importante ; puis il donne les détails suivants sur la découverte de la célèbre *eau de Javelle*.

« Dans le commencement de mes épreuves, on me pria d'aller à Javelle pour y montrer la manière dont il fallait préparer l'acide muriatique oxygéné et s'en servir pour la blanchisserie. Je ne faisais aucune difficulté de montrer ce procédé que je désirais de voir se propager; j'allai donc deux fois à Javelle; j'y exécutai la distillation de l'acide muriatique oxygéné dans des vaisseaux que j'y portai, et j'y blanchis quelques échantillons de toile. A cette époque, j'employais encore une liqueur concentrée et j'y mêlais un peu d'alcali. Quelques temps après, les manufacturiers de Javelle publièrent dans différents journaux, qu'ils avaient découvert une liqueur particulière qu'ils appelèrent lessive de Javelle et qui avait la propriété de blanchir les toiles par une immersion de quelques heures. Le changement qu'ils avaient fait au procédé que j'avais exécuté en leur présence consistait en ce qu'ils mettaient de l'alcali dans l'eau qui reçoit le gaz, ce qui fait que la liqueur se concentre beaucoup plus, de manière qu'on peut ensuite l'étendre de plusieurs parties d'eau pour s'en servir. »

Enfin Berthollet termine ce mémoire si important, dans lequel il crée, pour ainsi dire, de toutes pièces, une grande industrie, par le résumé des avantages qui ressortent de l'emploi du nouveau procédé.

Il est plus rapide que l'ancien, il peut s'appliquer en toutes

saisons, au lieu de n'être praticable qu'en été; il diminue beaucoup moins la solidité originaire du lin et du chanvre que les opérations longues et multipliées du blanchiment ordinaire.

« Il paraît même, par des expériences de M. Decroisille, que l'acide muriatique oxygéné, en resserrant les pores du coton, lui donne plus de solidité et qu'en même temps il lui communique la propriété de prendre des couleurs plus éclatantes. De ce que les toiles sont moins usées, il en est résulté un inconvénient aux yeux de quelques commerçants, c'est qu'elles paraissent moins fines que les toiles de même qualité blanchies à la manière accoutumée. M. Bonjour a même été obligé de chercher les moyens d'user les toiles qui avaient été blanchies dans l'établissement qu'il dirige. On sent que ces moyens ne sont pas difficiles à trouver : mais ceux qui voudront s'en passer profiteront d'une plus grande solidité.

« Et ces vastes prairies qui, dans les pays les plus fertiles, sont abandonnées aux toiles qu'il faut y tenir étendues, pendant toute la belle saison, parviendrai-je à les conquérir à l'agriculture, pour laquelle leurs productions sont perdues pour la plus grande partie?

« Si je ne me fais pas illusion, le procédé que j'ai décrit doit être distingué de ceux qui contribuent aux simples progrès des arts; il mérite une recommandation particulière auprès de ceux qui veillent sur la prospérité publique, puisque, outre les intérêts du commerce, il peut contribuer directement à vivifier les campagnes, qui sont la première source de nos richesses, et qui ont tant de droits à nous inspirer de l'intérêt. »

Cette industrie se répandit bientôt, en effet, tant en France qu'en Angleterre, et, quelques années après, nous trouvons dans un recueil contemporain les passages suivants, qui montrent mieux que nous ne le pourrions faire combien la grande découverte de Berthollet avait eu de retentissement.

« Avant[1] que ce grand chimiste eût découvert et publié son procédé de blanchiment pour les fils de tissus de lin et de coton, les fabricants de Rouen étaient obligés de faire blanchir en été les fils de coton destinés à entrer pendant l'hiver dans la texture des étoffes connues sous le nom de rouennerie, et mélangées de blanc avec le bleu, le rouge, etc.

« Ils étaient forcés d'attendre le milieu du printemps pour pouvoir obtenir le blanchiment des étoffes et bonneteries dont la fabrication en écru était achevée dès le milieu de l'automne. Cette longue avance

1. Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, 2e année, an X (1801).

de fonds était cause que souvent, avant la Révolution, et tous les quatre ou cinq ans, les ouvriers de Rouen manquaient de travail pendant la saison la plus rigoureuse. Les commerçants les plus fortunés y subvenaient par une cotisation volontaire de 150 à 200,000 livres, employée à des remuements de terre.....

..... « Les espérances entrevues par le C. Berthollet commençaient à peine à se réaliser sous ses yeux, à Paris, lorsque l'un des négociants français les plus éclairés, le C. Alexandre de Fontenai, connu par ses généreuses spéculations pour l'avantage de l'industrie nationale (il a été le promoteur et l'un des principaux actionnaires de la grande filature de coton à Louviers, le plus grand établissement de ce genre en Normandie, et le second en France), sentant l'importance du perfectionnement de cette découverte naissante, détermina les CC. Decroisilles frères, chimistes manufacturiers, à s'en occuper. Bientôt on vit se former une association de talent et de zèle; le C. de Fontenai l'aîné et le C. Grandin y contribuèrent. On devait s'attendre à des obstacles de plus d'un genre, avant qu'une expérience, aussi longue que dispendieuse, eût fait trouver les modifications nécessaires au procédé. C'était en 1788, une entreprise aussi hardie que patriotique : elle donne aux capitalistes qui l'ont faite un grand droit à la reconnaissance publique. Mais il est maintenant bien prouvé qu'aucun autre procédé n'est applicable en hiver; qu'il est le plus expéditif de tous; qu'il n'est pas plus coûteux, et que, pratiqué comme il l'est par les frères Decroisilles, sans laisser aucune trace d'odeur muriatique, il donne le blanc le plus éclatant aux fils et tissus de coton, en leur conservant la plus grande tenacité. Aussi le mode de blanchiment de ces chimistes manufacturiers gagne-t-il de plus en plus, et chaque année voit s'accroître les travaux de leur blanchisserie Berthollienne à Lisieux-lès-Rouen.

« Quoique les frères Decroisilles n'aient jamais employé au delà de quarante ouvriers, ils suffisent cependant dans toutes saisons, et même en hiver, à fournir la matière du travail à plusieurs milliers de tisserands, bonnetiers, teinturiers et autres ouvriers. Si la ville de Rouen est une de celles où les temps malheureux de la Révolution ont été le moins sentis, la découverte du C. Berthollet a sans doute été l'une des principales causes du maintien de l'ordre dans cette ville populeuse; et si un aussi grand nombre d'ouvriers eût manqué de travail, l'imagination est effrayée du parti qu'en eussent tiré les agitateurs émisseurs de ceux qui voulaient détruire l'industrie nationale.

« Cette vérité est tellement reconnue, que la mairie et la chambre de commerce de Rouen ont envoyé des députations au C. Berthollet, lors de son passage par cette ville, pour lui exprimer sa reconnaissance. Plusieurs savants sont aussi venus le complimenter.... »

Si Berthollet a commis une erreur grave dans les conclusions qu'il a tirées de ses expériences relativement à la nature du gaz muriatique oxygéné, ces expériences même ont puissamment contribué à faire mieux connaître les propriétés de ce corps intéressant.

Avant de critiquer, au reste, il faut se rappeler combien l'erreur était facile à commettre, comment il était fatal, pour ainsi dire, qu'on se trompât, et à quel point les propriétés oxydantes de ce gaz pouvaient faire illusion sur sa constitution.

Si donc, au point de vue purement scientifique, le mémoire de Berthollet n'est pas à l'abri de reproches sérieux, la découverte des propriétés décolorantes de l'acide muriatique oxygéné et la création d'une industrie qui a puissamment contribué à la prospérité nationale, en font une œuvre capitale, un titre solide à la reconnaissance publique.

§ III. *Le gaz acide muriatique oxygéné est un corps comburant. — Fourcroy.*

Nous avons déjà rencontré, dans une étude précédente, le nom de cet illustre professeur, qui a popularisé la science par ses brillantes leçons, comme d'autres l'ont fait avancer par leurs recherches; nous l'avons rencontré s'efforçant avec Séguin et Vauquelin d'arriver à déterminer exactement dans quels rapports l'oxygène et l'hydrogène se combinent pour donner naissance à l'eau; ici nous allons le rencontrer expérimentant sur l'acide muriatique oxygéné et ajoutant, à toutes les connaissances que nous avons déjà sur ce sujet, plusieurs faits nouveaux d'une grande importance.

..... « Depuis [1] que les propriétés des fluides élastiques commencent à être appréciées avec exactitude, plusieurs physiciens ont cru que les gaz qui ne peuvent pas servir à la respiration ne sont pas non plus susceptibles d'entretenir la combustion; et, en effet, ces deux phénomènes ont tant d'analogie l'un avec l'autre, qu'il devait paraître bien naturel d'en admettre l'existence simultanée. Mais s'il est vrai, et s'il arrive constamment qu'un gaz qui ne peut pas servir à la combustion, ne peut pas servir davantage à la respiration, il ne l'est pas également que tous les gaz dangereux pour les animaux et qui ne sont pas susceptibles d'entretenir leur respiration, ne sont pas en même temps

1. Mémoires de l'Académie des sciences, 1788, p. 365.

capables de faciliter la combustion des corps combustibles. On sait déjà que le gaz nitreux entretient la combustion du pyrophore avec plus d'énergie que l'air atmosphérique. Je me propose de faire voir dans ce mémoire qu'un autre gaz jouit de propriétés bien plus singulières encore que le gaz nitreux, par rapport à la combustion. »

Aidé de Vauquelin, son préparateur et son élève, Fourcroy essaye diverses combustions dans l'acide muriatique oxygéné ; une bougie y brûle pendant quelque temps avec un éclat rougeâtre, une lampe s'y consume lentement avec une flamme fuligineuse, tandis que d'autres corps, au contraire, s'y enflamment spontanément.

« En plongeant un petit morceau de phosphore attaché au bout d'un fil de fer recourbé dans de l'acide muriatique oxygéné, il s'allume tout à coup et brûle avec un éclat et une déflagration remarquables. Cette expérience, en annonçant, comme la première, que ce gaz est susceptible d'entretenir la combustion avec plus d'énergie que l'air atmosphérique, me présentait, au premier aspect, un fait d'autant plus difficile à expliquer, que le phosphore froid ou à la température ordinaire de l'atmosphère ne s'allume point dans l'air vital, et qu'il y brille même d'une lumière plus faible que dans l'air atmosphérique; mais on verra tout à l'heure d'où dépend cette différence, et quelle est la cause de cette inflammation et de celle que je vais décrire. »

L'hydrogène phosphoré, obtenu quelque temps auparavant par Gengembre, brûle dans l'acide muriatique oxygéné avec le plus grand éclat.

L'hydrogène sulfuré s'y détruit, donne un dépôt de soufre, mais sans qu'il y ait inflammation ; l'action du gaz muriatique oxygéné sur l'ammoniaque est enfin, de la part de Fourcroy, l'objet d'une étude attentive, et il s'efforce bientôt de rendre témoin des curieux phénomènes qui prennent naissance pendant cette réaction, cet auditoire nombreux et assidu qui remplissait alors l'immense amphithéâtre du Muséum.

« J'ai toujours cherché dans mes cours à rendre sensibles, et à démontrer aux yeux par des expériences positives, les théories que j'y expose. Dans cette vue, voulant prouver que lorsque l'ammoniaque est décomposée par l'acide muriatique oxygéné, il se forme de l'eau par l'union de l'hydrogène, l'un des principes de l'alcali volatil avec l'oxygène de l'acide muriatique oxygéné, tandis que l'acide muriatique et l'azote deviennent libres, ainsi que l'a expliqué M. Berthollet, j'ai pensé que je rendrais cette explication plus claire, et que j'en prouverais la

vérité en mettant en contact le gaz acide muriatique oxygéné avec le gaz ammoniac, au lieu d'employer ces deux corps liquides, comme l'avait fait jusque-là M. Berthollet. Cette expérience eut tout le succès que j'en avais espéré ; les deux gaz mêlés se pénètrent et se condensent tout à coup; il se produit une chaleur vive, on aperçoit des fluides transparents, une vapeur blanche qui se condense bientôt et forme sur les parois de la cloche posée sur le mercure des gouttes d'eau en très-grand nombre. Mais il se passe en même temps un phénomène bien propre à fixer l'attention des chimistes qui s'occupent du perfectionnement de la doctrine moderne. M. Vauquelin, en faisant le mélange des deux gaz à quelque distance de moi et pendant que j'étais occupé à en exposer la théorie, crut voir une flamme pendant leur pénétration réciproque; il me fit part de cette observation, et nous répétâmes cette expérience avec le soin et l'attention qu'elle nous paraissait exiger. Nous vîmes très-manifestement de la flamme, surtout dans l'obscurité, et nous apprîmes ensuite, en employant les gaz très-purs et en assez grande quantité, à produire cet effet d'une manière si sûre, que je l'ai toujours fait voir depuis dans mes cours : cette inflammation est assez forte pour qu'on l'aperçoive même au milieu du jour. »

Nous savons aujourd'hui, par de nombreux essais faits pour vérifier l'expérience de Fourcroy, que cette opération avait été faite avec des gaz impurs, renfermant probablement de l'oxygène, ce qui explique la production d'eau; — cette formation tout accidentelle devient cependant un des arguments les plus décisifs en faveur de la théorie proposée par Berthollet et soutenue par Fourcroy. — Si on eût prouvé en effet que l'acide marin déphlogistiqué de Scheele, parfaitement pur, forme de l'eau en s'unissant au gaz ammoniac sec, il n'y avait plus de doutes à avoir : l'acide marin déphlogistiqué renfermait de l'oxygène.

Qu'une mauvaise expérience conduise à des conclusions erronées, cela est naturel; mais que la découverte de faits parfaitement exacts, très-importants, au lieu de ramener le chercheur dans la bonne voie, l'entraîne vers des erreurs nouvelles, c'est là un de ces résultats singuliers dont abonde l'histoire des sciences et dont nous trouvons ici un nouvel exemple; car, après avoir découvert que le gaz muriatique oxygéné a des propriétés comburantes énergiques, Fourcroy est plus certain que jamais que le gaz qu'il étudie renferme de l'oxygène.

« Si nous considérons la combustion des bougies et l'inflammation

du gaz hydrogène phosphoré dans le gaz acide muriatique oxygéné, comparée à celle que ces deux corps combustibles éprouvent dans l'air atmosphérique et dans l'air vital, nous remarquerons que cette combustion plus vive que celle qui a lieu dans l'atmosphère, mais moins brillante dans la flamme que celle qui est produite par l'air vital, annonce que l'oxygène uni à l'acide muriatique n'y est pas sans combinaison de lumière et de calorique, mais qu'il contient une quantité moindre du premier principe ou de la lumière, et que le second ou le calorique y est plus comprimé, plus resserré que dans l'état d'air vital; car les expériences de MM. Lavoisier et de La Place démontrent que l'oxygène contenu dans le gaz acide muriatique oxygéné y est combiné avec autant de calorique que dans l'air vital. Si nous recherchons ensuite comment la bougie s'enveloppe d'une vapeur épaisse qui offusque la flamme et pourquoi les parois du vase où se fait l'expérience sont sensiblement obscurcies, nous reconnaîtrons que c'est la grande quantité de charbon, élevé en vapeur par le gaz hydrogène, qui se dégage et qui, ne pouvant pas entièrement brûler, se dépose peu à peu et à mesure que l'hydrogène se combine avec l'oxygène, et forme de l'eau; le cône obscur, dont s'enveloppe tout à coup la flamme d'une lampe par le contact du gaz acide muriatique oxygéné, rend cette explication très-vraisemblable. Ajoutons à cette première cause de la vapeur épaisse répandue autour de la flamme la quantité d'eau formée tout à coup et privée de l'état vaporeux par l'acide muriatique qui se trouve libre. Si cette vapeur épaisse n'existe ni dans l'air vital ni dans l'air atmosphérique, c'est que la chaleur forte dégagée dans ces dernières combustions fait brûler complétement le charbon et élever sous forme vaporeuse l'eau à mesure qu'elle se forme.

« Le second ordre de faits décrits dans ce mémoire comprend l'inflammation des corps combustibles qui a lieu comme exclusivement dans le gaz acide muriatique oxygéné et qui ne se produit pas dans l'air atmosphérique, ni même dans l'air vital, au moins à la même température. Cette inflammation est celle du phosphore et du gaz ammoniac. Il faut avouer qu'il doit paraître étonnant que l'air vital, ce corps éminemment propre à la combustion, qui brûle avec tant de rapidité tous les corps combustibles, échauffés chacun à des degrés déterminés, n'ait aucune action, à la température ordinaire, sur le phosphore; et que cette substance perde même au milieu de cet air une grande partie de sa propriété lumineuse si bien entretenue par l'air atmosphérique. Si l'on compare ensuite la vive inflammation qu'il éprouve dans le gaz acide muriatique oxygéné, si l'on fait attention à la nature de ce gaz, à l'état dans lequel il contient l'oxygène, aux circonstances générales de la combinaison de ce dernier principe

avec les différents corps combustibles, on reconnaît que ce fait s'explique assez facilement par la doctrine nouvelle; il ajoute encore à la précision de cette doctrine. En effet, l'oxygène, uni à l'acide muriatique, y est privé d'une grande partie de la lumière qu'il contient dans l'état de l'air vital; le calorique, qu'il paraît contenir dans une proportion presque aussi grande, y est dans une compression ou une densité beaucoup plus considérable. Il est donc plus près de se combiner avec des corps solides ou d'entrer dans des combinaisons liquides, puisqu'on sait aujourd'hui que pour unir des corps il faut rapprocher leur densité. C'est par ce dernier principe qu'on conçoit que l'air vital ne peut se combiner avec le phosphore et l'enflammer, que celui-ci ne soit auparavant divisé par la chaleur et rapproché par la rareté de l'air vital; or, lorsque l'oxygène est plus voisin de la densité du phosphore, en raison de la petite quantité de lumière et de la condensation du calorique qu'il contient comme dans le gaz acide muriatique oxygéné, ou dans l'acide nitrique, il peut se combiner rapidement avec le phosphore, et celui-ci peut en dégager plus facilement la portion de calorique et de lumière que cet oxygène liquide, ou sur le point de l'être, contient encore. C'est à ce même état de l'oxygène dans le gaz acide muriatique oxygéné, qu'est due la décomposition du gaz ammoniac et la flamme qui se dégage pendant cette décomposition; car l'air vital ne produisant pas cet effet sur l'ammoniaque et l'acide muriatique n'y contribuant en rien, puisqu'il reste lui-même libre et sans altération, il n'y a que l'état de compression de l'air vital dans le gaz muriatique oxygéné, il n'y a que la densité voisine de celle qu'a l'hydrogène dans l'ammoniaque, qui puisse rendre raison et de la rapidité de la décomposition et de la flamme qui s'excite dans l'action réciproque des deux gaz. C'est toujours de la densité analogue entre l'hydrogène du gaz ammoniac et l'oxygène de l'acide muriatique oxygéné que dépend la facilité avec laquelle ces deux corps s'unissent, et la rapidité de la formation de l'eau qui a lieu dans ce cas, tandis qu'au contraire l'extrême différence de densité entre le gaz oxygène et le gaz hydrogène les empêche de s'unir sous cette forme gazeuse. La flamme produite par cette décomposition réciproque des deux gaz prouve que l'hydrogène de l'ammoniaque sépare encore de l'oxygène uni à l'acide muriatique une certaine quantité de lumière qui existe dans le principe brûlant, et que dans l'eau l'oxygène est avec moins de chaleur et de lumière que dans le gaz acide muriatique oxygéné. »

Ce mémoire de Fourcroy renferme des faits bien observés et de la plus haute importance pour établir définitivement le rôle de l'acide muriatique oxygéné dans les combinaisons. Mais on sent cependant, à la lourdeur de la théorie exposée, qu'on n'est

pas dans le vrai. C'est un fait reconnu de tous les chercheurs, qu'un fait étant observé, il n'est rien d'aussi facile à trouver qu'une explication assez satisfaisante au premier abord; chacun a même souvent appris à ses dépens, que si une nouvelle observation montre que la première est inexacte, on imagine immédiatement une seconde théorie, complétement différente de la précédente, aussi satisfaisante et probablement aussi fautive.

De ce qu'il ne reste rien du long discours par lequel Fourcroy appuie son expérience, il ne faut pas conclure cependant que les mémoires ne doivent renfermer que des faits, et qu'il faut y bannir toutes les hypothèses qui ont pour but de lier ces faits les uns avec les autres, les mauvaises hypothèses ne font certainement pas autant de mal que les bonnes font de bien; les meilleures cependant, n'ont pas, comme les observations solides, une éternelle durée, ce sont des vérités relatives, des leviers qui se brisent bientôt, mais qui dans des mains habiles peuvent rendre pendant un temps limité d'excellents services.

Si, comme on l'a dit, l'histoire doit être un enseignement propre à nous éviter des fautes, en nous présentant vivement celles d'autrui, il ressort à chaque instant de cet enseignement, que les faits ont une bien autre valeur que les interprétations. Un fait bien observé est définitivement acquis à la science, il reste, c'est une assise solide, on peut s'y appuyer, elle ne fléchira pas. L'interprétation, au contraire, est sujette à varier, et pour peu qu'on relise des mémoires un peu anciens, comme nous venons de le faire, on est étonné de sa faiblesse.

Fourcroy a découvert que le gaz acide muriatique oxygéné était comburant; c'est là le point important de son mémoire, c'est là ce qui a donné à ce travail une si haute importance, ce qui lui en donnera surtout une plus grande encore, quand on saura que ce gaz est un corps simple et ne renferme pas d'oxygène, puisqu'on sera conduit alors à revenir sur ce que la théorie de Lavoisier sur la combustion a de trop absolu. Malheureusement, la gloire de cette découverte est ternie par la propagation d'une erreur fâcheuse : en annonçant qu'il se produit de l'eau par la combinaison de l'ammoniaque et de l'acide muriatique oxygéné, Fourcroy va retarder pendant longtemps encore la découverte de la véritable nature de cette substance intéressante.

CHAPITRE TROISIÈME.

L'ACIDE MURIATIQUE OXYGÉNÉ EST UN CORPS SIMPLE. — CHENEVIX, GAY-LUSSAC ET THÉNARD. — CURANDAU. — H. DAVY.

§ Ier. *Premiers doutes sur la nature de l'acide muriatique oxygéné. — Chenevix.*

Dans un mémoire dont nous n'avons pas parlé, Berthollet avait décrit déjà depuis plusieurs années la combinaison que forme l'acide muriatique oxygéné avec la potasse sous le nom de hyper-muriate de potasse suroxygéné, quand cette substance fut étudiée de nouveau, en 1801, par le chimiste anglais Richard Chenevix [1].

Après avoir décrit plusieurs essais dont un faillit lui coûter la vie et blessa dangereusement un de ses collaborateurs, M. le docteur Vaudier, par suite de l'explosion d'un ballon renfermant de l'hyper-muriate de potasse et de l'acide sulfurique, Chenevix émet les doutes suivants sur la nature des substances qu'il étudie.

..... « M. Berthollet termine son mémoire sur le muriate de potasse hyperoxygéné, en disant qu'il considère l'acide muriatique comme le radical; l'acide muriatique oxygéné comme correspondant à l'acide sulfureux et nitreux. Je conclurai par les arguments qui favorisent chaque dénomination, et les analogies sur lesquelles elles sont fondées.

« L'acide muriatique est pour nous un corps simple, mais il a des propriétés acides de la plus forte espèce; c'est pourquoi nous supposons par analogie qu'il contient de l'oxygène. Mais cette conclusion n'est-elle pas trop précipitée? Ne doutons-nous pas beaucoup de l'existence de l'oxygène dans l'acide prussique? Ne sommes-nous pas, au contraire, certains que l'hydrogène sulfuré, qui possède plusieurs marques caractéristiques des acides, n'en contient pas? Nous n'avons pas de preuves de l'oxygénation des acides fluorique et boracique, et nous ne pouvons pas affirmer qu'aucun de ces acides existe dans trois états de combinaison avec l'oxygène; l'acide muriatique est l'unique radical

1. Observations et expériences sur l'acide muriatique oxygéné et hyperoxygéné, par Richard Chenevix, écuyer, membre de la Société royale de Londres. *Journal de physique*, tome XL, thermidor an X, 1801.

où nous admettions ce fait. Nous ne devons pas, cependant, prétendre limiter le nombre ou les degrés de combinaisons entre les corps combustibles et l'oxygène, mais nous pouvons parler avec certitude seulement des choses qui sont prouvées. Outre ses propriétés acides, l'acide muriatique en a d'autres communes avec les corps oxygénés; avec 16 parties d'oxygène, il forme un acide qui dans plusieurs de ses propriétés est à son radical ce que l'acide sulfureux est au soufre. Comme l'acide sulfureux, il est volatil, a peu d'attraction pour les bases salifiables, détruit la couleur bleue des végétaux, et est capable de recevoir une plus grande quantité d'oxygène. Avec 65 parties d'oxygène il devient plus fixe, ainsi que l'acide sulfurique; il a une plus forte affinité pour les bases salifiables et acquiert des propriétés plus réellement acides. Sur ces considérations, je soumets au jugement des chimistes, si, dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas plus philosophique de dire radical muriatique, ou quelque autre mot seul, de la même signification pour acide muriatique; acide muriateux pour acide muriatique oxygéné; acide muriatique pour acide muriatique hyperoxygéné.

..... « Et, pour parler sans préjugé, nous devons commencer par considérer si la présence de l'oxygène dans tous les corps qui ont des propriétés acides a été rigoureusement démontrée, et ne pas nous déterminer par cette loi de la chimie française, avant d'être convaincus qu'elle n'a pas été trop légèrement reçue. »

C'était, en effet, en s'appuyant sur de simples analogies qu'on avait admis l'existence de l'oxygène dans l'acide muriatique; en reconnaissant les propriétés oxydantes de l'acide muriatique déphlogistiqué de Scheele, on avait été conduit ensuite à le considérer comme plus oxygéné et il était devenu acide muriatique oxygéné; enfin il devenait probable que les sels obtenus en faisant arriver l'acide muriatique oxygéné dans des bases solubles, en dissolution concentrée, qui dégagent si facilement de l'oxygène, qui produisent si souvent des phénomènes de combustion, renfermaient un acide encore plus oxygéné que les précédents.

Pour la plupart des chimistes donc, le radical muriatique inconnu donnait, en se combinant avec des quantités différentes d'oxygène, l'acide muriatique, l'acide muriatique oxygéné et l'acide muriatique hyperoxygéné; ce radical possédait donc trois degrés d'oxydation.

Chenevix n'en veut admettre que deux, comme nous l'avons vu, et sans nier que l'acide muriatique oxygéné de Berthollet soit oxygéné en effet, il pense que l'acide muriatique ordinaire est

peut-être un corps simple, et c'est une erreur; mais cette erreur avait cela d'heureux qu'elle introduisait dans la question le mot de corps simple que personne n'avait encore prononcé; il était mal appliqué sans doute, mais il était dit et c'était un premier pas. Aussi, bien que l'hypothèse soutenue par Chenevix ne fût guère plus près de la vérité que celle qu'on avait admise jusqu'alors, elle était utile cependant, parce qu'elle remettait en question ce qu'on avait adopté sans discussion suffisante, et qu'elle attirait l'attention sur ce sujet.

§ II. *On peut expliquer les propriétés de l'acide muriatique oxygéné, dans l'hypothèse que c'est un corps simple; Gay-Lussac et Thénard.*

Le deuxième volume des Mémoires de la société d'Arcueil, publié en 1809, renferme le résumé des mémoires lus à l'Académie des sciences, par Gay-Lussac et Thénard, depuis le 7 mars 1808 jusqu'au 27 février 1809; ces mémoires, au nombre de huit, renferment des travaux de la plus haute importance. On est d'autant plus frappé de cette fécondité prodigieuse, qu'outre les recherches publiées en commun, Gay-Lussac donne dans ce même volume son mémorable travail sur les *Combinaisons des substances gazeuses les unes avec les autres*, et que Thénard y insère ses mémoires sur *l'action des acides sur les matières animales et végétales.*

Le travail qui nous intéresse spécialement traite : *de la nature et des propriétés de l'acide muriatique , et de l'acide muriatique oxygéné.*

Nous avons déjà insisté sur la série d'erreurs dans lesquelles les expériences de Berthollet, de Fourcroy, mal interprétées, avaient engagé les chimistes. La production d'eau dans la combustion de l'ammoniaque par l'acide muriatique oxygéné, et un travail d'Henry et de Berthollet dont ils avaient tiré la conclusion que l'acide muriatique ordinaire renferme de l'eau de combinaison, avaient surtout contribué à maintenir cette question dans la mauvaise voie où elle était alors fourvoyée.

C'est avec ces idées erronées que Gay-Lussac et Thénard commencent leurs recherches, et la faute qu'ils font de ne pas les soumettre à un contrôle sérieux va les retarder longtemps et

rendre leur marche lente et pénible; preuve convaincante de l'importance qu'ont dans les sciences expérimentales les préceptes de Descartes, et la nécessité absolue de n'appuyer ses raisonnements que sur une base dont on a reconnu, par des preuves convaincantes, la parfaite stabilité.

Une des premières expériences que tentent Gay-Lussac et Thénard, consiste à faire passer sur la litharge chauffée au rouge un courant de gaz acide muriatique; ils obtiennent, outre du muriate de plomb, une quantité d'eau notable et restent persuadés que cette eau provient de l'acide muriatique qui l'a abandonnée en s'unissant à l'oxyde de plomb; de la même façon qu'on obtiendrait de l'eau en faisant passer des vapeurs d'acide sulfurique hydraté sur de la litharge en poudre.

Les deux chimistes de l'École polytechnique veulent ensuite déterminer quelle est la proportion d'eau que renferme l'acide muriatique, et entreprennent sur ce sujet une série d'essais.

La méthode qu'ils emploient paraît logique : quand nous voulons connaître quelle est la quantité d'eau que renferme un acide hydraté, nous l'unissons à un oxyde avec lequel il peut former un sel anhydre. — Si nous avons pesé d'une part l'acide, de l'autre la base, puis, que nous déterminions le poids final de la combinaison, après dessiccation, nous aurons pour poids de l'eau contenue dans l'acide la différence entre la somme du poids de la base et de l'acide et le poids de la combinaison sèche.

De même Gay-Lussac et Thénard précipitent d'abord à l'aide de l'azotate d'argent un poids déterminé d'acide muriatique, et ils forment du muriate d'argent; leur expérience est fort exacte, mais la conclusion qu'ils en tirent est complétement erronée; en effet, ils admettent que le muriate d'argent est une substance ternaire renfermant de l'oxyde d'argent et de l'acide muriatique; ils défalquent donc du poids total du muriate d'argent obtenu l'oxyde d'argent qu'ils y supposent, il reste pour l'acide muriatique qui est entré en combinaison un poids plus faible que le poids employé, et la différence entre ces deux poids leur représente l'eau qui a dû être éliminée; ils arrivent ainsi à trouver que l'acide muriatique renferme environ un quart de son poids en eau.

« Ces résultats démontrent que le gaz muriatique contient assez d'eau pour oxyder les métaux qu'il peut dissoudre; il ne serait pas possible, ou au moins il serait très-difficile de le dé-

composer directement. C'est d'après cela que, sans perdre l'espoir de le décomposer, nous avons cherché à le retirer du gaz muriatique oxygéné, en enlevant l'oxygène par des corps combustibles, parce que nous avons trouvé que le gaz muriatique oxygéné ne contient pas d'eau combinée. »

Ainsi le but de Gay-Lussac et Thénard est parfaitement visible; ils supposent, ils croient que l'acide muriatique est un hydrate; ils veulent l'obtenir anhydre; comme ils n'espèrent pas y arriver en l'attaquant directement, ils se tournent vers la combinaison suroxygénée, dans la pensée d'y réussir plus facilement. Un exemple fera bien comprendre leur marche, les chimistes savent qu'on ne connaît pas l'acide chlorique anhydre, il est toujours hydraté; eh bien, on pourrait essayer de faire cet anhydride en désoxydant l'acide perchlorique anhydre.

On obtiendrait encore de la même façon l'acide sulfureux en faisant passer de l'acide sulfurique anhydre sur de la ponce chauffée au rouge, puisqu'il se décomposerait en oxygène et en acide sulfureux.

« Pour réussir, on ne peut pas se servir des métaux, puisqu'ils forment des muriates neutres avec l'acide muriatique oxygéné. Les sulfures paraissaient devoir remplir notre objet; mais, au lieu d'acide muriatique, nous avons obtenu, en les mettant en contact avec du gaz muriatique oxygéné, la liqueur de soufre découverte par Thompson. Les sulfites de baryte et de chaux ne nous ont pas donné des résultats plus satisfaisants; quand ils étaient légèrement humectés, l'acide muriatique oxygéné était à la vérité décomposé; mais il se dégageait beaucoup de gaz sulfureux : quand, au contraire, ils étaient parfaitement secs, il n'y avait aucune action. Le phosphore ne sépare pas non plus l'oxygène du gaz muriatique oxygéné; il se combine directement avec lui et forme la liqueur que nous avons découverte en distillant du phosphore avec du muriate de mercure.

Le charbon est enfin employé : non calciné, il donne de l'acide muriatique, car il renferme de l'hydrogène; mais quand il a été fortement chauffé, l'action cesse, et l'acide muriatique oxygéné passe inaltéré.

« Nous avons dès lors pensé que l'acide muriatique ne pouvait pas exister sans eau à l'état de gaz, et que l'acide muriatique oxygéné ne pouvait être décomposé que par les corps qui contiennent de l'hydrogène ou par ceux qui, comme les métaux, le soufre ou le phosphore, peuvent former des combinaisons triples avec lui.

« ..... On sait, d'après M. Berthollet, que l'acide muriatique oxygéné liquide est décomposé par la lumière, et, d'après M. Fourcroy, qu'il ne l'est pas à l'état de gaz par cet agent, ni même par une température très-élevée. Ces faits prouvent manifestement que l'affinité de l'eau pour l'acide muriatique concourt à cette décomposition, et ils nous ont conduit à tenter la décomposition du gaz muriatique oxygéné par la chaleur et l'eau. Nous avons donc disposé un appareil de manière à pouvoir faire arriver dans un tube de porcelaine, exposé à une température rouge, du gaz muriatique oxygéné seul ou mêlé de vapeur d'eau bouillante. Dans le premier cas, le gaz n'á éprouvé aucune altération ; mais aussitôt qu'on a fait arriver de la vapeur d'eau, on a obtenu du gaz oxygène et de l'acide muriatique. Il n'est pas nécessaire, pour cette décomposition, que la chaleur soit très-élevée, car elle a encore lieu au-dessous de la température rouge.

« ..... La décomposition du gaz muriatique oxygéné par la lumière est successive, parce qu'elle dépend de son intensité. Cette observation nous a fait naître l'idée qu'il était possible que, dans un grand nombre de circonstances dans lesquelles les combinaisons ne se faisaient que lentement, cela provînt de ce qu'elles étaient opérées par un agent tel que la lumière, qui, dans un temps très-court, ne pouvait produire que de très-petits effets, parce qu'il était en petite quantité, mais qui, en se renouvelant sans cesse, en produisait de très-grands. Car, il faut l'avouer, il serait difficile de concevoir autrement l'action lente que deux gaz exercent mutuellement l'un sur l'autre lorsque leur mélange est uniforme. Dès que leur combinaison ne se fait pas aussitôt qu'ils sont mêlés et qu'elle s'opère ensuite lentement, ce n'est plus leur affinité mutuelle qui la détermine : elle est due à une cause étrangère qui favorise cette affinité, telle que la lumière, la chaleur et même l'électricité. »

Gay-Lussac et Thénard font alors ces belles expériences de combustion, classiques aujourd'hui, ils mêlent des volumes égaux de gaz muriatique oxygéné et d'hydrogène, les voient se conserver sans altération dans l'obscurité absolue, se combiner lentement sous l'influence de la lumière diffuse ; s'unir violemment au contraire avec explosion et bris des vases quand le mélange est frappé par les rayons du soleil.

« Il est donc évident, par ces expériences, que c'est la lumière qui opère la décomposition du gaz muriatique oxygéné, lorsqu'il est en contact avec le gaz hydrogène ou avec des gaz hydrogènes composés. »

Les habiles expérimentateurs, que nous suivons pas à pas,

commencent à s'étonner cependant de rencontrer des difficultés aussi grandes à déplacer cet oxygène qu'ils recherchent toujours dans l'acide muriatique oxygéné, sans pouvoir l'en faire sortir jamais, à moins d'employer des substances elles-mêmes oxygénées ; peu à peu le doute pénètre dans leur esprit.

« Les expériences que nous avons rapportées jusqu'à présent doivent donner de la constitution du gaz muriatique oxygéné une idée toute différente de celle qu'on s'en était formée. On l'avait regardé comme le corps le plus facile à décomposer, et l'on voit au contraire qu'il résiste à l'action des agents les plus énergiques, et qu'on ne peut en retirer l'acide muriatique à l'état de gaz qu'au moyen de l'eau ou de l'hydrogène. »

Cette conclusion leur permet de réaliser plusieurs décompositions qu'ils avaient tentées en vain jusqu'alors ; les muriates résistaient à l'action des acides fixes, borique ou silicique ; « voyant que l'acide muriatique ne pouvait être obtenu à l'état de gaz qu'au moyen de l'eau, » Gay-Lussac et Thénard font arriver de la vapeur d'eau sur du sel marin mélangé d'acide borique ou d'acide silicique et obtiennent avec la plus grande facilité l'acide muriatique gazeux, des borates ou des silicates ; expériences admirables qui seront certainement utilisées un jour dans l'art du verrier !

Le muriate d'argent, qui résiste au charbon pur, se déeompose au contraire très-facilement sous l'action simultanée du charbon et de la vapeur d'eau, l'argent fondu se rassemble en une masse homogène ; aussi les auteurs peuvent-ils ajouter : « Nous ne doutons pas, à cause de la grande facilité avec laquelle se fait l'opération, qu'on ne puisse employer ce moyen en grand, dans le traitement des mines du muriate d'argent. »

Le mémoire se termine enfin par le paragraphe suivant, que nous tenons à reproduire textuellement :

« Cette action de l'eau sur les acides ou sur les bases est donc beaucoup plus puissante qu'on ne l'avait cru jusqu'à présent. C'est elle qui détermine la formation de l'acide sulfurique par l'acide sulfureux et le gaz oxygène, ou le gaz nitreux, et celle de l'acide nitrique par ce dernier gaz et l'oxygène, comme l'a fait voir M. Humboldt. C'est elle encore qui favorise la décompostion du nitrate de potasse au moyen de l'argile ; aussi sait-on très-bien, dans les ateliers où l'on fait en grand cette décomposition, que, pour obtenir beaucoup d'acide, il faut

employer des argiles très-humides : lorsqu'elles sont trop sèches, on n'en obtient que très-peu ; il est, à la vérité, beaucoup plus concentré, mais il revient alors à un prix trop élevé. Il en est de même de la décomposition du muriate de soude par l'argile, elle n'a lieu qu'au moyen de l'eau qu'elle renferme, et elle s'arrête aussitôt que celle-ci est tout évaporée. Si l'on parvient à décomposer quelques muriates terreux par la chaleur, ce n'est encore que parce qu'ils renferment de l'eau. Ainsi, dans quelques circonstances qu'on cherche à obtenir le gaz muriatique, on ne peut y parvenir qu'au moyen de l'eau. Plusieurs autres acides, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique, ne peuvent exister sans eau, dans leur plus grand état de concentration, et elle paraît être le lien qui réunit leurs éléments, mais elle joue un rôle beaucoup plus important dans l'acide muriatique. *Le gaz muriatique oxygéné n'est pas, en effet, décomposé par le charbon, et on pourrait, d'après ce fait et ceux qui sont rapportés dans ce mémoire, supposer que ce gaz est un corps simple.* Les phénomènes qu'il présente s'expliquent assez bien dans cette hypothèse ; nous ne chercherons point cependant à la défendre, parce qu'il nous semble qu'ils s'expliquent encore mieux en regardant l'acide muriatique oxygéné comme un corps composé. »

On voudrait certes pouvoir enlever ces dernières lignes, et laisser aux deux illustres chimistes français la gloire d'avoir les premiers énoncé et soutenu cette théorie : on ne le peut pas.

Comment des observateurs aussi attentifs, aussi indépendants, conduits par l'expérience jusqu'à cette conséquence, ont-ils reculé devant elle? Comment ce mot de corps simple qu'ils avaient prononcé ne les a-t-il pas illuminés, comment n'ont-ils pas senti que c'était là la solution? Dans un travail précédent[1], nous avons vu Gay-Lussac trouver, par un trait de génie, la véritable composition de l'eau en volumes et en tirer son admirable loi sur les combinaisons gazeuses ; ici, au contraire, il met la main sur la solution, puis il la laisse échapper. On peut croire que des influences étrangères n'ont pas été indifférentes à cette fâcheuse pusillanimité; quel est le chimiste qui, tout enivré des idées que lui suscitent ses expériences, convaincu, n'a pas senti sa foi s'amoindrir sous les objections d'un ami, et n'a pas émis sous une forme dubitative une proposition qu'il tenait cependant pour une vérité?

1. La découverte de la composition de l'eau. *Annales du Conservatoire*, n° 2. Octobre 1860.

La situation était pénible, au reste, pour Gay-Lussac et Thénard, qui avaient reçu tant de preuves d'amitié et de bienveillance de Berthollet, c'était son œuvre qu'ils étaient conduits à attaquer, et cela, chez lui-même, dans cette réunion d'Arcueil, où furent lus tant de mémoires admirables.

Sur ce point, au reste, nous n'en sommes pas réduits aux conjectures, et nous trouvons dans le troisième volume des mémoires d'Arcueil, publié en 1816, le passage suivant dû à Berthollet.

..... « J'ai combattu fortement l'opinion de MM. Gay-Lussac et Thénard, lorsque le premier lut à notre réunion d'Arcueil le mémoire dans lequel étaient exposées les raisons qui les décidaient à considérer le gaz muriatique oxygéné comme un corps simple, et je les engageai à ne présenter cette opinion qu'avec beaucoup de circonspection : cependant M. Gay-Lussac la conserva dans ses cours, et MM. Ampère et Dulong l'adoptèrent dès lors; ainsi ils ont bien droit à prétendre qu'ils ont les premiers regardé le chlore comme un être simple, quoique M. Davy ait le premier établi publiquement cette opinion, et sans connaître ce qui avait précédé. »

§ III. *L'acide muriatique oxygéné n'est que le radical de l'acide muriatique dépouillé d'hydrogène. — Curandau.*

Le 5 mars 1810, la classe des sciences entendit à l'Institut la lecture d'un mémoire bien fait pour frapper les esprits; l'auteur, chimiste industriel assez obscur, s'est élevé ce jour-là aussi haut que les maîtres. Nous ne possédons qu'un court extrait de son mémoire[1]; mais, tout tronqué et abrégé qu'il soit, il suffit pour montrer que Curandau explique pour la première fois, et de la façon la plus heureuse, une des propriétés de l'acide muriatique oxygéné qui avait contribué davantage à maintenir dans l'erreur les esprits les plus ouverts.

Nous avons vu que, pour Scheele déjà, l'acide muriatique déphlogistiqué pouvait porter au maximum les sels de fer au minimum, était capable de transformer l'acide arsénieux en acide arsénique; il ne fut pas difficile, quand on connut l'oxygène, de

1. *Journal de physique*, tome LXX, 1810.

reconnaître dans ces transformations des actions oxydantes ; de là une des preuves en faveur de l'opinion qui voulait que le gaz de Scheele fût oxygéné.

Curandau cependant remarque très-bien que c'est seulement lorsqu'il est humide que ce gaz agit ainsi ; et il n'hésite pas à attribuer à l'oxygène de l'eau décomposée tous les phénomènes d'oxydation que produit le gaz muriatique oxygéné. Suivant lui, ce gaz est un des radicaux de l'acide muriatique et est susceptible de lui donner naissance en s'unissant à 1/34e d'hydrogène. Ainsi, l'acide muriatique oxygéné est, pour Curandau, de l'acide muriatique moins de l'hydrogène, opinion essentiellement différente de celle qu'on avait eue jusqu'alors.

Reprenant une à une toutes les expériences déjà classiques, il en trouve une nouvelle explication parfaitement claire et que nous admettons encore aujourd'hui.

On se rappelle que Berthollet, en exposant de l'eau tenant en dissolution l'acide muriatique oxygéné à l'action du soleil, avait pu en obtenir de l'oxygène ; ce phénomène était dû pour lui à la décomposition de l'acide muriatique oxygéné ; pour Curandau il était tout autre ; c'est l'eau, dit-il, et non le gaz muriatique oxygéné qui est décomposé, celui-ci enlève à l'eau son hydrogène pour produire l'acide muriatique, et alors l'oxygène de l'eau devenant libre se dégage. Voilà pourquoi, ajoute-t-il, le gaz muriatique oxygéné sec, qu'on regarde comme très-oxygéné, n'a cependant aucune action oxygénante sur le charbon incandescent, sur le soufre, ni même sur le gaz nitreux.

Le précipité obtenu en versant de l'acide muriatique dans l'azotate d'oxyde d'argent en dissolution devient, pour Curandau, un *muriure* et non un muriate ; car l'hydrogène de l'acide muriatique désoxyde l'argent et le radical s'unit directement à l'argent.

On comprend dès lors comment cette combinaison binaire ne se laisse pas attaquer par la potasse humide ou par le charbon incandescent ; on comprend aussi très-bien comment, au contraire, l'hydrogène peut réduire facilement cette combinaison en se substituant à l'argent pour donner l'acide muriatique ordinaire.

Ce mémoire, si important, si rempli d'idées neuves dont la suite a montré la justesse, a cependant passé inaperçu, et on ne le trouve cité dans aucun des historiques publiés sur la découverte du chlore.

Curandau en est resté là, et ne paraît pas avoir poussé plus avant ces études dans lesquelles il avait si bien débuté ; peut-être, au reste, ses travaux furent-ils interrompus par le beau mémoire que publia peu de temps après sir H. Davy; mais son nom ne mérite pas moins de rester attaché à cette question à laquelle il a fait faire un si grand pas.

Malgré la forme dubitative sous laquelle ils l'avaient émise, l'hypothèse de Gay-Lussac et Thénard faisait son chemin; ces deux auteurs la conservant dans leur enseignement, elle germait dans la tête des chimistes, et ne devait pas tarder à porter ses fruits: un des premiers fut le mémoire de Curandau. On ne peut pas dire qu'il ait affirmé positivement que le gaz muriatique oxygéné était un corps simple, mais toutes ses expériences tendaient vers la démonstration de ce fait, et elle aurait certainement découlé de ses travaux si le mémoire de sir H. Davy n'avait imposé la solution avec l'autorité que donnaient à ses œuvres ses magnifiques recherches sur les métaux des alcalis fixes.

§ IV. *Travaux de sir H. Davy. — L'acide muriatique oxygéné est un corps simple. — Il reçoit le nom de chlore.*

Sir Humphry Davy naquit en 1778, au village de Varfell, en Cornouailles, où son père, modeste sculpteur sur bois, possédait un petit patrimoine.[1] L'éducation de l'enfant qui devait tant contribuer aux progrès de la chimie commença à Truro, puis se continua chez un apothicaire, à Penzance, où demeurait habituellement son père. Sa vocation se dessina bientôt, et tout le temps dont put disposer le jeune élève en pharmacie fut employé à des essais, à des expériences qui mirent souvent en émoi tout le voisinage, quand, prolongées jusqu'à une heure avancée de la nuit, elles étaient accompagnées de violentes explosions.

Humphry eût peut-être cependant hésité longtemps sur la voie dans laquelle il devait s'engager, si la fortune n'avait poussé sur son chemin plusieurs hommes de science distingués qui facilitèrent étrangement ses débuts. Grégoire Watt, le fils du célèbre ingénieur, envoyé en Cornouailles pour soigner sa santé, vint élire domicile chez la mère de Davy et se prit d'amitié pour le

1. Voyez pour plus de détails, Lives of men of letters and science who flourished in the time of George III, by lord Brougham. F. R. S. Paris, 1845.

fils de son hôtesse; celui-ci était jeune, prompt à l'enthousiasme, amoureux de gloire, avide de grandes entreprises; aussi excité par de longues conversations, affermi par de bons conseils, éclairé par les livres mis à sa disposition, il sentit grandir encore son goût pour l'étude. Un peu plus tard, Davy rencontra M. Davies Giddy, grand amateur de science, qui, non content d'ouvrir au jeune savant sa riche bibliothèque, le présenta au docteur Beddoes qui venait de fonder l'institution pneumatique dans le but d'étudier les gaz et de les utiliser dans la thérapeutique. Libre de donner carrière à son goût pour la chimie, Davy débuta bientôt par la publication d'une théorie de la lumière et de la chaleur qui renfermait déjà quelques vues ingénieuses; mais son mémoire sur l'acide nitreux (notre protoxyde d'azote), qu'il publia peu de temps après dans un journal du docteur Beddoes, intitulé : *Contributions to medical and phisical sciences,* en fit tout à coup un des hommes les plus célèbres d'Angleterre.

Les singulières propriétés que possède ce gaz, les effets nerveux si variés que ressentent les personnes qui respirent le gaz hilariant, excitèrent au plus haut degré la curiosité, et l'heureux expérimentateur fut nommé lecteur suppléant en chimie à l'Institution royale de Londres (1802).

Bien que Davy eût consacré la meilleure partie de son temps à l'étude des sciences, les distractions littéraires avaient toujours gardé pour lui le plus grand attrait; il s'était, dans sa jeunesse, essayé à la poésie et avait réussi à écrire des vers passables. Au moment où il lui fallut parler en public, ces exercices lui furent utiles pour donner à son débit une certaine élégance qui dissimulait, jusqu'à un certain point, sa gaucherie et sa rudesse natives. Son succès, devant un nombreux auditoire des deux sexes, fut éclatant. Le jeune professeur en fut enivré; charmé d'être reçu dans la haute société de Londres, il voulut marcher de pair avec elle..... Pendant quelque temps il parut oublier que la science est une épouse à laquelle il faut rester fidèle, si l'on veut conserver ses faveurs; mais bientôt l'engouement dont il avait été l'objet se dissipa, Davy fut négligé, et le dépit aidant la raison, il revint bientôt au sentiment de sa véritable position, et reprit ses travaux avec courage.

Si le lecteur de l'Institution royale avait été exposé à des dan-

gers auxquels il échappa heureusement, il avait toute facilité pour poursuivre ses recherches; une riche bibliothèque, un laboratoire, des aides nombreux étaient à sa disposition, et bientôt ses travaux montrèrent qu'il était digne de la haute position qu'il avait obtenue peut-être un peu prématurément.

Ses recherches portèrent surtout sur l'électro-chimie, à laquelle il donna une puissante impulsion; armé de la pile qu'avait découverte Volta quelques années auparavant, il arriva, en 1807, à décomposer les alcalis fixes, qui avaient résisté jusqu'alors à tous les efforts qu'on avait faits pour démontrer que ces substances étaient des oxydes métalliques.

La découverte du potassium et du sodium, des métaux alcalins terreux, une des plus fécondes qu'aient faites les arts chimiques, eut le plus grand retentissement, et à sa gloire, l'Institut de France, malgré la guerre qui désolait et séparait les deux pays, décerna à sir H. Davy le prix qu'avait fondé l'empereur Napoléon Ier pour récompenser un grand travail scientifique.

Tel était le début du grand esprit qui, en 1810, devait apporter son puissant appui à ces travaux sur l'acide muriatique oxygéné, poursuivis déjà depuis près de quarante ans.

Le 12 juillet 1810, H. Davy lut à l'Académie royale des sciences de la Grande-Bretagne son mémoire le plus important sur l'acide oxymuriatique, sa nature et ses combinaisons; il débutait par un aperçu historique.

« L'illustre auteur de la découverte de l'acide oxymuriatique le considéra comme étant l'acide muriatique dépouillé d'hydrogène, et, par conséquent, l'acide muriatique était, suivant lui, un composé d'hydrogène et d'acide oxymuriatique; c'est d'après cette théorie qu'il crut devoir donner à l'acide oxymuriatique la dénomination d'acide muriatique déphlogistiqué.

« Quelques années après l'époque de cette découverte par Scheele, M. Berthollet fit sur l'acide oxymuriatique un grand nombre d'expériences importantes et curieuses, qui l'amenèrent à conclure que cet acide était un composé de gaz acide muriatique et d'oxygène; et cette opinion a été presque universellement adoptée depuis environ vingt ans. »

Davy rappelle ensuite que, d'après les expériences de Gay-Lussac et Thénard, le gaz muriatique renferme un quart de son poids d'eau, et que le gaz oxymuriatique ne peut être décomposé

par aucun autre corps que par l'hydrogène ou que par ceux qui peuvent former des combinaisons triples avec lui.

« Un des faits les plus remarquables sur ce sujet, ajoute l'auteur, fait que j'ai déjà cité, c'est que le charbon, tenu même à l'état d'ignition, au blanc, au moyen d'un courant voltaïque, ne fait éprouver aucune altération à ce gaz, s'il a été préalablement dépouillé d'hydrogène et d'humidité, en le calcinant au feu le plus violent.

« Cette expérience, que j'ai répétée plusieurs fois, me porta à douter de l'existence de l'oxygène dans l'acide oxymuriatique, qu'on a supposé le contenir, plus que toute autre substance, dans un état où il tend à s'en séparer avec facilité, et c'est pour en reconnaître la présence que je crus devoir me livrer à des recherches plus rigoureuses que celles qui avaient été faites jusqu'à présent. »

Davy étudie alors l'action de l'acide oxymuriatique sur l'étain et prépare la liqueur fumante de Libavius, pensant que si cette substance est une combinaison d'acide muriatique et d'oxyde d'étain, l'oxyde d'étain devait en être séparé par l'ammoniaque. Davy met ces deux substances en contact et obtient cette combinaison blanche étudiée depuis par M. H. Rose et par nous-même.

L'ammoniaque se combine donc avec la liqueur de Libavius sans la décomposer; les efforts de Davy pour tirer de l'oxygène de cette curieuse combinaison, qu'il obtient en faisant arriver l'ammoniaque sur « le composé solide provenant d'acide muriatique et de phosphore » ne sont pas plus heureux.

« On a dit, ajoute-t-il, et il a été posé en fait par un grand nombre de chimistes que, par l'action réciproque de l'acide oxymuriatique et de l'ammoniaque, il y a de l'eau formée; j'ai fait plusieurs fois l'expérience, et je suis convaicu que cet effet n'a pas lieu. Lorsqu'on mêle ensemble 15 ou 16 parties de gaz acide muriatique oxygéné et 40 à 45 parties de gaz ammoniacal, il y a condensation de la presque totalité des gaz acide et alcalin, et il se produit de 5 à 6 parties de nitrogène. On a pour résultat du muriate d'ammoniaque sec [1]. »

Davy répète les expériences de Cruikshank, de Gay-Lussac et Thénard, qui avaient obtenu, en mélangeant l'hydrogène et l'acide oxymuriatique, un gaz presque entièrement absorbable

1. Tous les chimistes savent en effet aujourd'hui que,



$$4\,AzH^3 + 3\,Cl = Az + 3\,(AzH^3\,HCl)$$

par l'eau, sans que ce dernier fluide prît naissance; il voit la condensation du gaz résultant de la combinaison diminuer à mesure que les matières sont plus sèches; en décomposant l'hydrogène sulfuré par le gaz oxymuriatique, il obtient du soufre et du gaz muriatique, toujours sans qu'il y ait production d'eau.

Il ajoute alors :

« MM. Gay-Lussac et Thénard ont prouvé, par une grande réunion d'exemples, que dans les cas ordinaires, où de l'oxygène est obtenu de l'acide oxymuriatique, il y a toujours présence d'eau et formation de gaz acide muriatique, et puisqu'on a fait voir que le gaz acide oxymuriatique est converti en gaz acide muriatique, en se combinant avec l'hydrogène, il n'est guère possible d'échapper à la conclusion que l'oxygène provient de la décomposition de l'eau, et par conséquent que l'idée de l'existence de l'eau dans le gaz acide muriatique est une hypothèse fondée sur une présomption qui a encore besoin de preuves.

« MM. Gay-Lussac et Thénard rapportent, en effet, une expérience qu'ils considèrent comme devant prouver que le gaz acide muriatique contient les 0,25 de son poids d'eau combinée. En faisant passer ce gaz au travers de la litharge, ils en obtinrent cette proportion d'eau; mais il est facile de voir que, dans ce cas, ils formaient le même composé que celui produit par l'action de l'acide oxymuriatique sur le plomb; et, dans l'expérience, l'acide muriatique devait abandonner son hydrogène, et le plomb son oxygène, ce qui donnait lieu à la formation d'eau.

« Ces habiles chimistes semblent bien avoir prévu qu'une semblable explication peut être donnée; car, dans la conclusion de leur mémoire, ils conviennent qu'on *pourrait*, d'après les faits qui y sont rapportés, considérer le gaz oxymuriatique comme un corps simple. J'ai répété avec le plus grand soin les expériences qui d'abord m'avaient fait soupçonner l'existence d'eau combinée dans l'acide muriatique : je trouvai que par l'action du mercure, au moyen d'un courant voltaïque sur 1 en volume de gaz acide muriatique, l'acide disparaît en totalité, il y a du calorique formé et dégagement d'environ un demi-volume d'hydrogène.

« Avec le potassium dans des expériences faites sur le mercure très-sec, la quantité d'hydrogène est toujours de 9 à 11, le volume du gaz acide muriatique étant 20.

« Dans quelques expériences faites avec beaucoup d'attention par mon frère, M. John Davy, sur la décomposition du gaz acide muriatique par l'étain et le zinc chauffés, l'hydrogène dégagé était en quantité égale à environ la moitié du volume du gaz acide muriatique, et

les muriates métalliques qui en résultaient étaient les mêmes que ceux produits par la combustion de l'étain et du zinc dans le gaz oxymuriatique.

« Il est évident, d'après cette suite d'observations, que la manière dont Scheele envisagea la nature des acides oxymuriatique et muriatique peut être considérée comme une expression de faits, tandis que la manière de voir adoptée par l'école française de chimie, et qui, jusqu'à ce qu'elle ait été plus attentivement examinée, paraît si satisfaisante, ne repose encore, dans l'état actuel de nos connaissances, que sur des bases hypothétiques.

« Lorsqu'on présente l'acide oxymuriatique à l'action de l'hydrogène, en volume à peu près égal à celui de l'acide, il y a combinaison entre les deux substances, et il en résulte du gaz acide muriatique. Lorsqu'on traite le gaz acide muriatique avec le mercure ou avec tout autre métal, l'acide oxymuriatique est séparé de l'hydrogène par l'affinité plus forte du métal, et il se produit un oxymuriate exactement semblable à celui formé par combustion. »

A mesure qu'il avance dans ses recherches, H. Davy approche de plus en plus de la vérité; quelques paragraphes plus loin, en effet, on rencontre cette phrase bien remarquable, où ce qu'il y avait de trop exclusif dans la théorie de la combustion donnée par Lavoisier commence à être rudement attaqué.

« La combustion vive des corps dans le gaz oxymuriatique semble indiquer au premier abord que l'oxygène viendrait pénétrer ces corps; mais *la chaleur et la lumière sont simplement des résultats de la grande force d'action de combinaison*. Le soufre et les métaux des terres calcaires, et les acides, passent à l'état d'ignition par l'effet de leur action réciproque; et on peut bien s'attendre à un effet semblable dans une action aussi rapide que l'est celle de l'acide oxymuriatique sur les métaux et les corps inflammables. »

Davy repousse ensuite l'analogie qu'on a voulu établir entre les muriates et les sels oxygénés ; puis, revenant sur la décomposition de l'acide muriatique par les métaux, il ajoute :

« Ce qui semble d'abord annoncer évidemment l'existence de l'eau dans le gaz acide muriatique, c'est que la quantité d'hydrogène qui se dégage lors de la décomposition du gaz acide muriatique par les métaux, est la même que celle qui serait produite pendant la décomposition de l'eau par les mêmes corps; mais comme il n'existe qu'une seule combinaison connue d'hydrogène et d'oxyde oxymuriatique, cette quantité doit toujours être séparée. *L'hydrogène est dégagé par un métal de sa*

combinaison oxymuriatique de la même manière qu'un métal est dégagé par un autre de combinaisons semblables »

C'est pour la première fois que l'hydrogène est comparé à un métal ; jusqu'alors la substitution d'un métal à un autre n'avait jamais été mise si nettement en parallèle avec le déplacement de l'hydrogène de l'acide muriatique par un métal ; il appartenait au reste à celui qui avait découvert les métaux qui décomposent l'eau à froid, qui se substituent ainsi si nettement à l'hydrogène, d'émettre pour la première fois cette opinion si hardie et si vraie : l'hydrogène se conduit comme un métal.

La fin de la première partie de ce mémoire est si curieuse, Davy s'y élève si haut, qu'il faut tout citer :

« Il est peu de substances peut-être qui donnent moins lieu que l'acide oxymuriatique à être considérées comme acide; mais comme nous ne sommes pas encore en droit de dire qu'il a été décomposé, et comme sa tendance de combinaison le porte à s'unir avec les matières inflammables pures, *il peut se faire qu'il appartienne à la même classe que l'oxygène. Dans le fait, ne peut-il pas être un principe particulier, acidifiant et dissolvant, capable de former avec les corps combustibles des composés analogues aux acides contenant l'oxygène, ou aux oxydes, dans leurs propriétés et pouvoirs de combinaison, mais en différant comme étant pour la plupart décomposables par l'eau?*

« Dans cette hypothèse, l'acide muriatique peut être considéré comme ayant l'hydrogène pour base et l'acide oxymuriatique pour son principe acidifiant. Le sublimé phosphorique aura pour sa base le phosphore et l'acide oxymuriatique pour sa matière acidifiante, et on pourra regarder comme corps analogues la liqueur de Libavius, et les composés d'arsenic avec l'acide oxymuriatique.

« Les combinaisons de l'acide oxymuriatique avec le plomb, l'argent, le mercure, le potassium et le sodium deviendront dans cette manière de voir une classe de corps ayant plus de rapport dans leurs puissances d'attraction avec les oxydes qu'avec les acides. »

La belle page que nous venons de citer contient tout un programme de recherches. Nous nous sommes donné pour mission de le remplir dans la mesure de nos forces; mais, en dehors des fonctions chimiques des chlorures sur lesquelles nous aurons occasion de revenir dans ce recueil, il nous faut remarquer combien s'étendent et se rectifient, à la suite de ce mémoire, les idées émises par Lavoisier sur la combustion. Ce grand

homme, malgré son indépendance d'esprit, n'avait pu échapper complétement à l'influence du système du phlogistique si généralement admis de son temps. Stahl disait que les corps combustibles brûlent au moment où ils dégagent leur fluide combustible, Lavoisier renverse la proposition : ce n'est plus le corps combustible qui renferme la matière du feu et de la chaleur, c'est le corps comburant par excellence, c'est l'oxygène. L'oxygène gazeux est formé d'un principe grave et d'un fluide impondérable, dont l'influence conserve la partie solidifiable à l'état aériforme ; quand cette partie solidifiable se fixe, le fluide igné est dégagé, de là, flamme et lumière. Dans les idées de Lavoisier, l'oxygène seul produit la flamme; en montrant que le gaz oxymuriatique comburant, comme l'avait vu Fourcroy, est un corps simple, Davy détruit cette hypothèse trop exclusive; il écrit que la chaleur et la lumière sont simplement des résultats de la grande force d'action de combinaison, et engage ainsi les recherches dans cette belle voie, à l'extrémité de laquelle se rencontrent la transformation des forces physiques les unes dans les autres, la transformation de l'action chimique en chaleur, lumière, mouvement et électricité.

Non content d'avoir émis ces idées si neuves sur les combinaisons muriatiques, Davy recherche les rapports en poids suivant lesquels l'acide muriatique entre en combinaison avec différents corps simples et les nombres qu'il trouve sont très-rapprochés de la vérité.

« Si, conformément à l'idée ingénieuse de M. Dalton, dit-il, l'hydrogène est considéré comme 1 en poids relativement à sa proportion dans l'eau, alors l'oxygène sera à peu près 7,5; et en établissant que la potasse est composée de 1 proportion d'oxygène et de 1 de potassium, alors la potasse sera 48 et le potassium environ 40,5; et d'après une expérience sur la combustion du potassium dans le gaz acide muriatique, expérience dont j'ai déjà donné le détail dans la dernière leçon bakérienne, l'acide muriatique sera représenté par 32,9, et par conséquent le gaz acide muriatique le sera par 33,9. Cette estimation s'accorde avec la pesanteur spécifique des gaz acide oxymuriatique et acide muriatique. D'après mes expériences, 100 pouces cubes de gaz acide oxymuriatique pèsent, toutes réductions faites pour la température et la pression barométrique moyennes, 74,5 grains, tandis que par estimation ce poids serait de 76,6. Dans les mêmes circonstances, je trouve que le poids de 100 pouces cubes de gaz acide muriatique

est de 39 grains; et, par estimation, ces 100 pouces cubes pèseront 38,4 grains[1]. »

Enfin Davy termine ce mémoire si remarquable, si rempli de faits et qui surpasse tout ce qu'on avait écrit jusqu'alors sur le chlore, par les considérations suivantes qui ont ouvert, il y a quarante ans, aux chimistes une voie dans laquelle ils n'ont fait jusqu'à présent que de très-médiocres progrès.

« Outre le composé du sublimé phosphorique et d'ammoniaque et les autres composés dont il a été parlé, il est probable que d'autres composés de nature semblable peuvent être formés des oxydes, des alcalis ou des terres avec les combinaisons oxymuriatiques, ou des composés oxymuriatiques entre eux; et dans le cas où il en serait ainsi, ces faits nouveaux, qui sembleraient au premier aperçu contradictoires, donneraient de l'extension aux analogies les plus recherchées de la philosophie chimique; *car si, comme je l'ai déjà dit, l'acide oxymuriatique se rapporte à la même classe de corps que le gaz oxygène, alors, de même que l'oxygène n'est pas un acide, mais qu'il forme des acides en se combinant avec certains corps inflammables, de même aussi on peut concevoir que l'acide oxymuriatique, en se combinant avec des substances semblables, peut former, ou des acides, ce qui est le cas lorsqu'il se combine avec l'hydrogène, ou des composés, tels qu'acides ou oxydes, comme dans le cas des oxymuriates de phosphore et d'étain.*

« Ainsi que l'oxygène, l'acide oxymuriatique est attiré dans les combinaisons voltaïques à la surface positive; et dans l'hypothèse de la connexion existante entre l'attraction chimique et les pouvoirs électriques, toutes ses affinités correspondent à celle d'un corps supposé négatif à un haut degré. Il semble retenir encore son caractère négatif dans la plupart de ses composés, à l'exception de ceux contenant, ou les métaux alcalins qu'on peut considérer comme positifs au plus haut degré, ou les métaux avec lesquels il forme des composés insolubles. »

Comment ces pages admirables n'ont-elles pas frappé les chimistes? comment n'ont-ils pas vu que Davy avait deviné qu'il existe à côté de la chimie de l'oxygène dans l'étude de laquelle tout le monde est engagé, une nouvelle chimie à faire, celle du chlore; qu'il y a là à étudier des acides, des bases, des sels, des amides, des éthers et des corps d'une espèce très-curieuse, dont les substances oxygénées n'ont point pour ainsi dire de représentants complets, les anhydrides?

1. On arrive, en réduisant ces mesures, à 2g.9 pour le poids d'un litre de chlore, au lieu de 3g.1 et à 1g.6 pour le poids d'un litre d'acide chlorhydrique, ce qui est exact.

Les idées de Davy étaient-elles trop hardies pour des esprits imbus de l'importance de l'oxygène et qui voulaient tout rapporter à lui? passèrent-elles simplement inaperçues parce qu'aucune oreille ouverte ne les reçut, parce qu'elles ne tombèrent dans aucun terrain bien préparé? Nous l'ignorons; mais pour nous qui avons déjà passé plusieurs années sur cette question, nous croyons les idées émises par le grand chimiste anglais éminemment exactes, et nous considérons leur énoncé comme un de ses plus beaux titres de gloire.

L'année suivante, il revient encore sur cette question, il la suit, il la possède, il veut s'en rendre maître complétement et faire passer dans l'esprit d'autrui les opinions qu'il professe; non content des preuves qu'il a déjà apportées à l'appui de l'opinion qu'il soutient, il veut en accumuler de nouvelles, de là un troisième mémoire[1] renfermant des *expériences sur quelques combinaisons du gaz oxymuriatique et de l'oxygène*.

Davy enflamme dans le gaz oxymuriatique du potassium, et s'assure une fois de plus qu'il ne se dégage pas d'eau pendant cette combinaison, mais que le produit obtenu est en tout semblable au muriate de potasse fondu. — Il s'assure encore que lorsqu'on chauffe de la potasse sèche dans le gaz oxymuriatique, « il n'y a point d'humidité séparée, si ce n'est lorsque le gaz contenait de la vapeur d'eau, et que le gaz oxygène dégagé par cette opération, quand la température est fortement élevée, correspondait exactement à celui qu'absorbe le potassium pour donner la potasse. »

Il expérimente ensuite sur les terres alcalines et obtient les mêmes résultats, l'oxygène est déplacé et le gaz oxymuriatique se substitue à lui; plus loin il étudie les combustions des métaux dans ce même gaz, et termine ses expériences par les conclusions suivantes :

« Le gaz oxymuriatique se combine avec les corps inflammables pour former de simples composés binaires; lorsqu'il agit sur des oxydes, il en dégage l'oxygène, ou force celui-ci d'entrer dans de nouvelles combinaisons.

« Si l'on dit que l'oxygène résulte de la décomposition du gaz oxymuriatique, et non pas des oxydes, je demanderai pourquoi l'oxygène

1. *Annales de chimie*, tome LXXVIII, 1811.

dégagé est toujours en même quantité que celui contenu dans l'oxyde, et pourquoi dans quelques cas, tels que ceux des peroxydes de potassium et de sodium, il n'est point en rapport avec la quantité du gaz oxymuriatique employé.

« Si dans ce dernier gaz il existe une matière acide combinée avec l'oxygène, elle devrait se manifester dans le fluide composé d'une proportion de phosphore avec deux de gaz oxym.; car ce fluide, dans une telle supposition, devrait contenir de l'acide muriatique (d'après l'ancienne hypothèse, exempt d'eau) et de l'acide phosphorique; mais cette substance n'a point d'effet sur le papier de tournesol, et n'agit point dans les circonstances ordinaires sur les bases alcalines fixes, telles que la chaux vive et la magnésie. Le gaz oxymuriatique, de même que l'oxygène, doit être combiné avec une grande quantité de matière inflammable particulière pour former un acide. S'il est uni avec le gaz hydrogène, il rougit instantanément le papier de tournesol le plus sec, quoique le composé soit gazeux. Bien différent des acides, il dégage l'oxygène des protoxydes et se combine avec les peroxydes.

« Lorsque le potassium est brûlé dans le gaz oxymuriatique, on obtient un composé sec. Si l'on emploie le potassium combiné avec l'oxygène, tout l'oxygène est expulsé, et il se forme le même composé que dans le cas précédent. Il est contraire à une saine logique de dire que cette quantité précise d'oxygène est dégagée d'un corps que nous ignorons être composé, tandis que nous sommes certains de l'existence de cet oxygène dans un autre corps; et tous les autres cas sont semblables. On pourrait à la vérité, d'après les circonstances de la formation du gaz oxymuriatique par l'action de l'acide muriatique sur les peroxydes ou sur l'hyperoxymuriate de potasse, tirer un argument favorable à l'existence de l'oxygène dans ce gaz. Mais une recherche plus étendue à ce sujet montrera, je n'en doute point, que les phénomènes de cette action sont entièrement conformes aux vues que j'ai émises. Ayant chauffé le gaz acide muriatique en contact avec le peroxyde de manganèse sec, j'ai trouvé qu'il se formait de l'eau avec rapidité, qu'il y avait du gaz oxymuriatique produit, et que le peroxyde devenait brun. Maintenant, comme l'on sait que le gaz acide muriatique est une combinaison de gaz oxymuriatique et d'hydrogène, il n'y a pas d'explication simple du résultat précédent, si ce n'est de dire que l'hydrogène de l'acide muriatique s'est combiné avec l'oxygène du peroxyde pour former de l'eau. »

L'expérience de Scheele que nous avons rapportée, et à l'aide de laquelle il a pu préparer l'acide muriatique déphlogistiqué, est de 1774, et c'est seulement en 1811 qu'elle est comprise d'une

façon définitive. Et cependant l'explication est simple et deux mots suffisent pour la faire entendre.

Ce sont là des exemples qu'il est bon de rappeler pour tremper les courages qui seraient tentés de mollir quand, après une année de travail, ils n'ont qu'un bien maigre butin, semble-t-il, à ajouter aux richesses de la science. C'est péniblement, lentement, que ces richesses s'accumulent, et nous voyons les maîtres eux-mêmes revenir bien souvent les uns après les autres pour découvrir une théorie que possèdent aujourd'hui des garçons de quinze ans.

« Scheele, ajoute Davy, a expliqué le pouvoir de blanchir qu'a le gaz oxymuriatique, en supposant qu'il détruisait les couleurs par sa combinaison avec le phlogistique. Berthollet a considéré ce gaz comme fournissant de l'oxygène. J'ai fait une expérience qui semble prouver que ce gaz seul est incapable d'altérer les couleurs végétales, et que son action dans le blanchiment dépend entièrement de sa propriété de décomposer l'eau et d'en rendre l'oxygène libre.

« J'ai rempli de gaz oxymuriatique un globe de verre contenant du muriate de chaux sec impur en poudre. J'ai introduit dans un autre globe contenant aussi du muriate de chaux sec un peu de papier sec, teint avec le tournesol et chauffé convenablement; après quelque temps, ce dernier globe fut vidé d'air et réuni au premier, contenant le gaz oxymuriatique, et par un jeu approprié de robinets, le papier fut exposé à l'action du gaz. Aucun changement de couleur n'eut lieu, et après trois jours à peine pouvait-on apercevoir quelque altération.

« Du papier semblablement séché et introduit dans le gaz, qui n'avait pas été exposé au muriate de chaux, fut blanchi instantanément. »

L'explication de l'action oxydante et décolorante de l'acide oxymuriatique déjà donnée par Curandau se trouve donc aussi émise par sir H. Davy. Les erreurs accumulées sur la nature de l'acide oxymuriatique se dissipent donc complétement, il ne reste plus qu'une réforme à faire, il faut baptiser ce puissant agent sur la nature duquel on s'était si complétement trompé; c'est à ce soin que Davy consacre les dernières lignes de son mémoire :

« Appeler *acide oxymuriatique* un corps que nous savons ne pas contenir de l'oxygène et qui ne peut renfermer de l'acide muriatique dans sa constitution, c'est agir contre les principes de la nomenclature qui a adopté cette expression, et il semble nécessaire de la changer

pour aider le progrès de la discussion et répandre des idées justes sur ce sujet. Si l'illustre chimiste qui a découvert cette substance l'avait désignée par quelque nom simple, il conviendrait d'y revenir; mais la dénomination d'*acide marin déphlogistiqué* n'est guère admissible, vu l'état avancé de la science.

« Après avoir consulté quelques-uns des philosophes chimistes les plus distingués d'Angleterre, on a cru que le parti le plus convenable était de fonder le nom sur une des plus évidentes propriétés caractéristiques de la substance, savoir sa couleur, et en conséquence de l'appeler *chlorine* ou gaz *chlorique*, mot dérivé du grec χλωρός. »

Il semblerait au premier abord que tous les chimistes eussent dû être frappés par la facilité avec laquelle tous les faits s'expliquaient, en admettant avec Davy que le gaz muriatique oxygéné était un corps simple et qu'il était bon de lui conserver le nom de chlore que venait de lui donner l'illustre chimiste anglais.

La vérité cependant est toujours lente à faire son chemin, et dans une lettre adressée à un journal allemand en 1815, Berzélius repousse la théorie de H. Davy sur l'acide muriatique oxygéné; il ne pense pas que cette substance soit un corps simple, et il maintient qu'elle est formée par l'union de l'acide muriatique et de l'oxygène; cette assertion étonne de la part d'un esprit aussi éminent, mais elle est très-instructive et elle montre une fois de plus combien une idée nouvelle a de la peine à se faire accepter, même par ceux qui paraîtraient le plus capables d'en apprécier l'importance.

La découverte du chlore vint bientôt, toutefois, lever tous les doutes. On n'avait sur cette nouvelle substance aucune idée préconçue, et Gay-Lussac ne rencontra pas d'opposition sérieuse quand il voulut ranger l'iode parmi les corps simples; mais l'iode et le chlore présentent des analogies si nombreuses, qu'on ne pouvaif hésiter à les classer à côté l'un de l'autre. Gay-Lussac a donc, non-seulement émis le premier l'opinion que le chlore était un corps simple, mais il vint encore apporter à son opinion un puissant appui, en montrant qu'il existe une autre substance élémentaire qui vient naturellement se placer à ses côtés.

§ V. *Discussion sur la priorité de la découverte de la simplicité du chlore.*

Nous venons de présenter les faits au lecteur, il reste mainte-

nant à conclure et à répondre à cette question simple : Qui a découvert que le chlore est un corps simple?

Prise en ces termes, la question est insoluble : car Gay-Lussac et Thénard ont dit seulement que le gaz oxymuriatique *pourrait* être considéré comme un corps simple; mais ils ajoutent qu'ils n'ont pas la prétention de soutenir cette opinion; Curandau, frappé de la justesse de cette interprétation, n'a cependant donné que l'explication de faits particuliers; si enfin Davy l'a adoptée et l'a fait triompher, ce n'est qu'après avoir eu connaissance des idées émises par les deux chimistes de l'École polytechnique.

Il faut donc se résigner à chercher la part spéciale qui revient à chacun d'eux.

Si nous n'ajoutons pas le nom de Richard Chenevix à ceux que nous avons cités, c'est que pour lui c'était notre acide chlorhydrique et non notre chlore qui était peut-être un corps simple ; ainsi la première idée de la simplicité de l'acide muriatique oxygéné appartient certainement à Gay-Lussac et Thénard, et c'était là, il faut l'avouer, l'effort le plus pénible à accomplir. La théorie donnée par Berthollet paraissait, en effet, très-satisfaisante, si on se rappelle surtout qu'elle s'appuyait sur plusieurs expériences, reconnues fausses depuis, mais admises alors universellement sur la foi de leurs auteurs.

Comment ne pas croire que l'acide muriatique oxygéné renfermait de l'oxygène, en le voyant dégager cet oxygène de sa dissolution aqueuse, le dégager encore de sa dissolution dans les bases, suroxyder les sels de fer, l'acide arsénieux, l'acide sulfureux ; n'être produit que sous l'influence de la manganèse, corps oxydé, qui cesse de favoriser son dégagement, lorsque la calcination l'a privée d'une partie de son oxygène? Comment ne pas attribuer à l'oxygène contenu dans ce gaz ses propriétés comburantes, quand on avait sous les yeux l'exemple du protoxyde et du bioxyde d'azote, l'un et l'autre comburants, à cause de l'oxygène qu'ils renferment, quand enfin Fourcroy assurait avoir obtenu de l'eau en faisant détoner le gaz oxymuriatique et l'ammoniaque? Il semblait que tous les doutes fussent impossibles.

C'est seulement en attaquant la question par la voie sèche qu'il était permis d'arriver ; dans ce cas, en effet, le dégagement

d'oxygène disparaît, et il n'est plus possible d'obtenir une seule combinaison oxygénée; la décomposition du gaz oxymuriatique, si facile en présence de l'eau, devient impossible; les muriates ne se décomposent pas sous l'influence du charbon et paraissent être les seuls sels connus qui résistent à cette puissante action; tandis que les sulfates donnent des sulfures, que les azotates se détruisent complétement pour former des carbonates; les muriates seuls restent inaltérés; ce sont ces expériences qui devaient faire douter de la présence de l'oxygène dans ces sels, et faire considérer le gaz oxymuriatique comme simple; c'est à cette idée que s'attachent Gay-Lussac et Thénard; ils l'émettent, persuadés qu'elle fera son chemin si elle est juste, et ils passent à une autre étude.

Nous pouvons bien aujourd'hui nous acharner sur une question, la chimie est assez avancée pour pouvoir laisser à chacun le temps de méditer ses travaux et de ne les abandonner qu'après avoir dit sur eux son dernier mot; il n'en était pas ainsi alors; les grands travailleurs de cette époque n'avaient pas le temps de ciseler chaque partie de leur œuvre; il fallait élever tout l'édifice; une poutre à peine placée, une autre attendait d'être équarrie pour prendre sa place; ils semblaient se contenter de fixer solidement chaque partie, en marquant d'une rude entaille, en plein bois, ce qui avait besoin d'être travaillé encore; le gaz oxymuriatique, écrivent-ils, peut être considéré comme un corps simple, et c'est là tout; mais cette phrase avait une énorme portée, elle fixait l'attention, elle indiquait nettement où il fallait chercher et dans quel sens; aussi les résultats ne se firent pas attendre.

L'année suivante, Curandau esquisse avec la plus grande sagacité toute une partie de la question; c'est seulement quand le gaz oxymuriatique est mêlé à l'eau, qu'il peut exercer son action oxydante, et quand de ce mélange se dégage de l'oxygène, c'est l'eau et non pas le gaz oxymuriatique qui se décompose. Il lui revient donc, à cet obscur travailleur, éclipsé entre les grands noms qui l'étreignent, une bonne part de la gloire de cette découverte, et nous serions heureux si cet écrit était capable de remettre son nom à la place qu'il doit occuper.

Enfin, pendant cette même année 1810, sir H. Davy reprend cette étude dans un but bien déterminé; la question est nettement

posée; le gaz oxymuriatique est-il oui ou non un corps simple? Il se met résolûment à l'œuvre et triomphe. De même que des troupes fraîches, arrivant au combat quand l'ennemi est déjà fatigué par des attaques réitérées, ne tardent pas à le mettre en déroute et souvent recueillent la gloire qu'elles doivent cependant partager avec celles qui ont supporté toute la première ardeur du combat; de même sir H. Davy, l'esprit libre, dispos, aborde résolûment la théorie de Berthollet, déjà chancelante, et la renverse.

Son mérite est immense; d'abord il a établi, sûrement, nettement, que le chlore est un de ces radicaux si fortement constitués qu'ils résistent à toutes nos attaques, et qu'il doit être rangé parmi nos corps indécomposés; puis, fixant les yeux alors sur les propriétés de ce nouvel élément, il entrevoit l'importance du rôle que doit jouer cette substance dans la classification régulière des substances chimiques.

Il n'hésite pas à le placer à côté de l'oxygène, non pas qu'il prétende que ce soit une substance de la même famille, mais il lui reconnaît la puissance de donner des corps de formes très-variées, des oxydes, des bases, des sels; il prévoit qu'à côté de la chimie de l'oxygène, si bien étudiée, sur laquelle tous les efforts sont concentrés, il doit exister une autre chimie à peine entrevue jusqu'ici, mais vers laquelle les travaux commencent à se tourner aujourd'hui. Montrant enfin qu'un corps non oxygéné peut entretenir la combustion, il élargit et rectifie singulièrement les idées des chimistes sur le dégagement de chaleur et de lumière qui accompagne la combinaison.

En résumé, Gay-Lussac et Thénard ont eu les premiers l'idée que le chlore était un corps simple; Curandau a appuyé sur cette idée et s'en est servi pour expliquer quelques-unes des propriétés les plus importantes de cette substance; enfin Davy a démontré juste l'idée émise par les chimistes français et a prévu le véritable rôle du chlore dans les combinaisons.

PARIS. — IMP. P.-A. BOURDIER ET Cᵉ, RUE MAZARINE, 30.

L'ASSAINISSEMENT DES VILLES

PAR LA FERTILISATION DES CAMPAGNES

Par M. L. MOLL.

La France s'est toujours vivement émue lorsqu'une ou plusieurs mauvaises récoltes avaient fait momentanément hausser le prix du pain, et l'émotion ne tardait pas à se transmettre des classes inférieures aux classes supérieures, et jusqu'aux régions officielles.

C'est que dans aucun pays du monde, le peuple n'est aussi disposé qu'en France à rendre ses gouvernants responsables de tout le mal qui lui arrive, même quand ce mal est dû à un excès de sécheresse ou à un excès d'humidité; conséquence fâcheuse, mais logique, de l'intervention trop constante, trop directe de l'autorité dans les affaires privées.

Aussi est-il beau de voir l'ardeur fiévreuse avec laquelle, en pareille occurrence, petits et grands, riches et pauvres, savants, publicistes, industriels, tout le monde, enfin, sauf peut-être les cultivateurs, s'occupe de la chose rurale et des moyens d'accroître la production agricole.

Ces moments sont le triomphe de l'agriculture. Chose étrange, c'est précisément lorsqu'elle a, au moins partiellement, failli à sa mission, qu'on apprécie son importance, qu'on lui assigne le rang qu'elle mérite.

Mais, vienne une bonne récolte, une baisse dans les prix, que le pain soit assuré pour le jour et le lendemain, et la grande nation, ou ce qui la représente, oublie ses préoccupations de la veille, et se passionne pour d'autres sujets, graves ou futiles, suivant les circonstances.

Heureusement qu'au-dessous de cette société aux impressions si vives, si mobiles, vit une population d'un tout autre carac-

tère, procédant d'une façon presque diamétralement opposée, attachée à ses vieilles idées, à ses vieux errements, poussée cependant par la force des choses dans la voie du progrès où elle n'avance, il est vrai, que pas à pas, mais ne reculant jamais, maintenant au contraire avec une incroyable ténacité chaque conquête qu'elle a réalisée dans la voie des améliorations; ce sont les travailleurs de la terre.

Chacune de ces agitations agricoles avait un sujet de prédilection, mot d'ordre accepté par tous, et qui servait de texte principal aux discours et aux écrits; et, reconnaissons-le, presque toujours ces sujets étaient des actualités d'une importance majeure. Ainsi, lors de la disette de 1816, c'était l'extension de la culture de la pomme de terre comme moyen de parer aux déficits des céréales. Plus tard, c'était la suppression, ou du moins la réduction de la jachère par les récoltes sarclées, puis la culture des fourrages artificiels, la stabulation permanente du bétail, puis l'accroissement de celui-ci et son amélioration.

Enfin, lors de la dernière crise alimentaire qui s'est terminée en 1857, la pensée générale, dominante, était l'*utilisation de toutes les matières propres à la fertilisation du sol.*

L'idée n'était pas neuve; mais jamais elle n'avait été proclamée aussi haut, jamais on n'en avait compris aussi unanimement l'importance. Il est vrai qu'elle avait été exprimée par une bouche auguste.

« Il est déplorable, avait-on dit en haut lieu, que la France, qui ne produit pas sa subsistance, qui importe jusqu'à des engrais du dehors, laisse perdre tant de matières fertilisantes dont elle pourrait disposer, et notamment la plus riche, la plus précieuse de toutes, l'engrais humain. »

Ces paroles, reprises et commentées, ont donc servi de texte. Et ajoutons que cela est heureux, que nulle question n'est et ne sera surtout dans l'avenir, plus importante que celle-ci, et qu'il est vivement à désirer que, ainsi que cela s'est vu précédemment, à l'agitation supérieure et à l'énoncé des théories succède, dans le même ordre d'idées, le travail calme, mais persévérant des cultivateurs.

C'est que, en effet, nulle question ne se rattache plus directement aux grands intérêts du pays.

Lorsqu'il y a une vingtaine d'années, un professeur du Conser-

vatoire se permit de dire que l'engrais, comme seul moyen de maintenir indéfiniment la faculté productive de la terre, était un des éléments les plus importants de l'existence des nations, on ne voulut voir dans cette proposition qu'un paradoxe ou une exagération.

Et, cependant, le professeur avait fourni à l'appui de sa thèse des faits qui étaient de nature à fixer l'attention et à porter la conviction dans les esprits.

Il avait montré l'épuisement du sol, conséquence inévitable de la culture sans engrais ou sans assez d'engrais, agissant sur les nations comme la phthisie sur le corps humain, amenant peu à peu, sourdement, mais fatalement, l'appauvrissement, la dépopulation, la décadence. Et, comme exemple, il avait cité ce qui se passe dans plusieurs des contrées les plus anciennement colonisées de l'Amérique du Nord, dans beaucoup de parties de la Virginie, des deux Carolines, de la Géorgie, où la terre, usée *par une* production continue et sans fumure de grains, de *tabac*, de coton, ne paye plus, depuis longtemps, les frais de *culture*, et présente d'immenses surfaces, jadis couvertes d'habitants et de récoltes, n'offrant plus aujourd'hui qu'un désert parsemé des ruines des anciennes fermes. Les exploitants ont fui vers les terres vierges de l'Ouest auxquelles ils appliquent le même système, et qui subiront le même sort dans un avenir plus ou moins prochain.

Il avait cité encore, comme exemple plus concluant peut-être, les rives de la Méditerranée, ces foyers de la civilisation antique, jadis si riches, si peuplées, si prospères, aujourd'hui arides et désertes, et comme frappées de malédiction.

Il avait demandé à l'histoire les causes de cette transformation, et l'histoire n'avait pu lui répondre, car elle ne tient compte que des grands événements politiques. Or, ces événements n'avaient pas été les mêmes partout, et partout cependant le résultat était identique. Une seule contrée avait échappé à la fatale influence et se montrait toujours relativement riche et peuplée, quoique ayant subi plus que toute autre l'action des bouleversements politiques, des guerres et des mauvais gouvernements. Il voulait parler de l'Égypte.

Et cependant l'Égypte suit sans interruption, depuis quatre mille ans, la culture sans engrais, et c'est même probablement

elle qui, par ses nombreuses colonies, avait introduit cette culture dans les contrées riveraines de la Méditerranée, et avait causé ainsi la décadence de ces anciens greniers de Rome, où, suivant les historiens, la terre rendait 100 et 150 pour 1. Les colonies avaient succombé. La mère patrie, auteur du mal, a résisté.

C'est que l'Égypte a toujours son Nil, dont les inondations périodiques étaient et sont encore une source inépuisable d'éléments fertilisateurs.

Voilà ce que disait le professeur en 1841, et il ajoutait : Si les nations modernes, qui n'ont pas de Nil, veulent détourner d'elles ce sort fatal qui les menace, il faut non-seulement qu'elles tiennent du bétail et beaucoup de bétail, mais qu'elles rendent à la terre l'équivalent de tout ce que lui enlèvent annuellement les récoltes; il faut que le sol productif reçoive donc tous les déchets, tous les résidus de nature organique, et notamment le produit de l'alimentation des hommes, l'engrais humain. C'est ainsi, et ainsi seulement, que depuis quarante siècles et plus, la Chine, qui est également privée d'un Nil fertilisateur, nourrit la population la plus dense qui existe sur le globe, sans que son territoire ait subi un affaiblissement dans sa fécondité primitive.

Il n'y avait dans tout cela ni paradoxe, ni même *exagération*. C'était vrai du commencement à la fin; mais, à l'époque où parlait le professeur, les disettes et les souffrances précédentes étaient oubliées, et nul indice n'en faisait prévoir de nouvelles. Il en était donc pour ses frais d'éloquence lorsque survinrent les chertés de 1847, et de 1854 à 1857, et le mouvement qu'elles provoquèrent dans les esprits vers ces questions, à la solution desquelles il attachait une si grande importance. Inutile de dire que, tout en déplorant le mal, il fut bien heureux de ce mouvement.

Il a été plus heureux encore en voyant récemment ses idées, qu'on avait trouvées ridicules, pleinement confirmées par une des plus hautes illustrations scientifiques, Juste de Liebig, et par une des plus hautes illustrations poétiques, Victor Hugo.

« L'agriculture de rapine, dit J. de Liebig, c'est-à-dire celle qui ne rend pas à la terre ce qu'elle lui prend, change des pays en déserts et les rend inhabitables; elle peut être décrite en peu de mots. »

« Dans les temps primitifs, ou lorsqu'il a à sa disposition un sol vierge, le cultivateur ne demande à la terre que des récoltes de céréales qui se succèdent sans interruption; lorsque ces récoltes diminuent, le cultivateur va plus loin chercher d'autres terres que n'a pas encore ouvertes la charrue. L'augmentation de la population vient successivement mettre un terme à ces migrations; alors le cultivateur est borné dans la culture aux mêmes terres, mais il n'en cultive chaque année que la moitié. Les récoltes continuent pourtant à baisser, et, pour les augmenter, le cultivateur a recours au fumier qu'il obtient au moyen des prés naturels.

« Cette ressource étant bientôt aussi reconnue insuffisante, l'on est amené à la production du fumier au moyen du fourrage que produisent les terres elles-mêmes. C'est la culture alterne. On demande au sous-sol le fumier qu'on demandait aux prés naturels, et on le demande d'abord sans interruption, puis en intercalant des années de jachère. Le sous-sol finit aussi par être épuisé, et les champs ne fournissent plus de récoltes fourragères; c'est alors qu'apparaissent la maladie des pois, celle des pommes de terre, puis celle du trèfle, des navets, et enfin toute culture cesse : la terre ne peut plus nourrir ses habitants.

« Personne ne sait quelle provision d'élément nutritif pour les plantes existe dans le sol, et il n'y a que l'insensé qui croit cette provision inépuisable. Combien il possède, c'est ce que nul ne sait; combien il dépense, c'est ce que chacun peut savoir. . . .

« . . . Si l'on suppose qu'il se perd annuellement, en Bavière, par exemple, un quart des éléments de production des grains nécessaires à la nourriture de ses habitants, on trouve pour cent ans un équivalent de 430 millions de quintaux métriques de blé. Aucun pays n'est assez riche pour pouvoir, au bout d'un certain temps, racheter les principes de son existence qu'il a gaspillés, et fût-il assez riche pour les racheter, il n'y a au monde aucun marché qui pourrait les fournir.

« Il faut des années pour amener la décadence des nations jusqu'à une pauvreté et à un dépeuplement stationnaire; mais l'heure est marquée où, dans toutes les parties de l'Europe, les enfants expieront les péchés de leurs pères.

« Aucun peuple, aucune nation sur la terre ne se sont maintenus s'ils n'ont su conserver les principes de leur existence et de

leur multiplication. *Toutes les contrées de la terre où la main de l'homme n'a pas rendu aux champs les éléments nécessaires à la production des récoltes, après avoir eu la plus nombreuse population, sont arrivées à la stérilité et à la ruine.* »

Voilà le jugement de l'homme de science. Voici maintenant celui du grand écrivain qui, dans cette circonstance, se montre un grand économiste.

« Paris jette par an 25 millions à l'eau, et ceci sans métaphore. Comment et de quelle façon? Jour et nuit. Dans quel but? Sans aucun but. Avec quelle pensée? Sans y penser. Pourquoi faire? Pour rien. Au moyen de quel organe? Au moyen de son intestin. Quel est son intestin? C'est son égout.

« 25 millions, c'est le plus modéré des chiffres approximatifs que donnent les évaluations de la science spéciale.

« La science, après avoir longtemps tâtonné, sait aujourd'hui que le plus fécondant et efficace des engrais, c'est l'engrais humain. Les Chinois, disons-le à notre honte, le savaient avant nous. Pas un paysan chinois, — c'est Eckberg qui le dit, — ne va à la ville sans rapporter, aux deux extrémités de son bambou, deux seaux pleins de ce que nous nommons immondices. Grâce à l'engrais humain, la terre, en Chine, est encore aussi jeune qu'au temps d'Abraham. Le froment chinois rend jusqu'à 120 fois la semence. Il n'est aucun guano comparable en fertilité au détritus d'une capitale. Une grande ville est le plus puissant des stercoraires. *Employer la ville à fumer la plaine, ce serait une réussite certaine.* Si notre or est fumier, en revanche notre fumier est or.

« Que fait-on de cet or fumier? On le balaye à l'abîme.

« On expédie à grands frais des convois de navires afin de récolter au pôle Austral la fiente des pétrels et des pingouins, et l'incalculable élément d'opulence qu'on a sous la main, on l'envoie à la mer. Tout l'engrais humain et animal que le monde perd, rendu à la terre au lieu d'être jeté à l'eau, suffirait à nourrir le monde.

« Ces tas d'ordures du coin des bornes, ces tombereaux de boue cahotés la nuit dans les rues, ces affreux tonneaux de la voirie, ces fétides écoulements de fange souterraine que le pavé nous cache, savez-vous ce que c'est? C'est de la prairie en fleur, c'est de l'herbe verte, c'est du serpolet, du thym et de la sauge;

c'est du gibier, c'est du bétail, c'est le mugissement satisfait des bœufs le soir, c'est du foin parfumé, c'est du blé doré, c'est du pain sur votre table, c'est du sang chaud dans vos veines, c'est de la santé, c'est de la joie, c'est de la vie. Ainsi le veut cette création mystérieuse qui est la transformation sur la terre et la transfiguration dans le ciel.

« Rendez cela au grand creuset; votre abondance en sortira. La nutrition des plaines est la nourriture des hommes.

« Vous êtes maîtres de perdre cette richesse et de me trouver ridicule par-dessus le marché. Ce sera là le chef-d'œuvre de votre ignorance.

« La statistique a calculé que la France, à elle seule, fait tous les ans à l'Atlantique, par la bouche de ses rivières, un versement d'un demi-milliard. Notez ceci : *avec ces 500 millions, on payerait le quart des dépenses du budget.* L'habileté de l'homme est telle qu'il aime mieux se débarrasser de ces 500 millions dans le ruisseau. C'est la substance même du peuple qu'emportent, ici goutte à goutte, là à flots, le misérable vomissement de nos égouts dans les fleuves, et le gigantesque ramassement de nos fleuves dans l'Océan. Chaque hoquet de nos cloaques nous coûte 1000 francs. A cela deux résultats : la terre appauvrie et l'eau empestée; la faim sortant du sillon, et la maladie sortant du fleuve. »

Que pourrions-nous ajouter à ces deux citations, sans risquer de les affaiblir? Nous nous bornerons à adresser nos chaleureuses félicitations à leurs auteurs, à ces deux belles intelligences, gloires de notre époque, qui, parties de points si différents, se sont rencontrées sur le même terrain. Ce que l'étude approfondie de la nature avait appris au grand chimiste, le bon sens porté à sa plus haute puissance, c'est-à-dire le génie, l'avait révélé au grand poëte, et, sans se soucier des sarcasmes de la foule, il a traité cet écœurant sujet avec le merveilleux talent d'exposition dont il a le secret, et qui, surtout en France, double la valeur des idées, des arguments et des principes.

Qu'ils veuillent bien recevoir ici les remerciements de leur modeste précurseur. S'il n'a pas eu, comme eux, le talent de convaincre et de remuer profondément les esprits; si le cri d'alarme qu'il a jeté le premier n'a rencontré que froideur et dédain, du moins a-t-il fait, avec un dévouement sans limite, ce

que sa position de praticien lui permettait d'effectuer, surmontant ses propres dégoûts, bravant ceux qu'il inspirait, et les sarcasmes et le ridicule, il s'est pris corps à corps avec cette matière précieuse, mais repoussante, *que le paysan chinois rapporte de la ville dans des seaux pendus à son bambou,* et, pendant huit ans, il l'a étudiée, manipulée, appliquée de vingt manières différentes, pour tâcher de lui arracher le secret de sa valeur et le secret du meilleur mode d'emploi.

Mais, arrêtons-nous. Le principe est posé et accepté. La cause est entendue, comme on dit au Palais.

Cherchons maintenant les moyens de passer de la théorie à la pratique.

L'agriculture a reçu de la Providence la double et magnifique mission de nourrir l'humanité, et de lui assurer en même temps les conditions nécessaires de salubrité, en appliquant tous les résidus, toutes les immondices à la fertilisation du sol, qui devient ainsi le grand désinfectant universel, en même temps qu'il est le merveilleux laboratoire où s'opère cette transformation, que signale Victor Hugo dans son beau langage.

Voyons ce que produit la ferme et ce qu'elle doit recevoir.

Elle produit du grain, de la paille, des fourrages, des racines alimentaires, des plantes oléagineuses et commerciales, de la laine, du lait, de la chair vivante et ses accompagnements obligés, des os, de la corne, du poil, de la peau.

Faut-il, pour rester fidèle au principe énoncé, rendre tous ces produits à la terre dès leur apparition? Non, évidemment, car, à cette condition, l'agriculture serait un non-sens. Rien ne se perd dans la nature; seulement, tout se transforme et souvent se déplace.

Ce qu'il faut, c'est que la mer et l'atmosphère s'enrichissent le moins possible aux dépens de la terre; c'est que tous ces produits, après avoir servi aux usages variés qui sont leurs destinations, arrivés à l'état de résidus impropres à tout autre emploi, reviennent au sol qui les a créés, à l'instar des fourrages et de la paille qui, après avoir été consommés par le bétail et lui avoir servi de litière, reviennent aux champs sous forme de fumier.

Voyons si ce retour, ce *circulus,* prévu déjà et recommandé par de bons esprits, est chose si difficile.

La ferme consomme fourrages, pailles, racines alimentaires,

et une portion du grain. Voilà ce qui, seul, aujourd'hui, lui sert à faire de l'engrais, c'est-à-dire l'élément réparateur. Elle exporte les froments, seigles, orges, graines oléagineuses, laines, bêtes vivantes et le lait; par conséquent les produits les plus riches en substances azotées et en substances minérales.

Comment ces produits pourront-ils lui revenir?

Les *graines oléagineuses* servent à faire de l'huile et laissent des tourteaux qui renferment toutes les matières fertilisantes de la graine, et que la culture rachète. Malheur au pays qui en exporte. Il vend une portion de son sang et de sa chair. Pourquoi faut-il qu'il en soit ainsi en France, et que nos tourteaux aillent en si forte proportion engraisser les terres de nos voisins?

Les *os*, après des emplois variés (entre autres la transformation en noir animal), doivent revenir sous une forme quelconque à la terre. C'est une des matières les plus importantes à cause des phosphates qu'elle renferme. Les Anglais, qui ont fouillé tous les champs de bataille du continent, qui ont importé chez eux des millions de tonnes d'os humains, fait servir à engraisser leurs terres les dépouilles de nos braves, nous laissent enfin *nos os*, grâce au prix élevé qu'ils ont atteint pour la fabrication du noir animal, et au prix plus élevé encore de ce dernier comme engrais.

Le phosphate fossile, dont les dépôts sont peu nombreux en France, est un complément utile, mais non un remplaçant des os.

La *laine* et la *soie*, après avoir servi à nous vêtir et être parvenues à l'état de guenilles, trouvent également leur dernier emploi dans le sol. Il est à désirer que l'industrie ne détourne pas cet engrais précieux de sa destination naturelle.

Il en est de même des *cuirs*, du *poil* et de la *corne*. Les fabricants d'engrais commerciaux rendent de grands services au pays en faisant recueillir toutes ces matières, et en leur faisant subir les préparations convenables pour en hâter la décomposition.

Une bonne partie de ces divers résidus se concentre dans les *boues de villes* qui, partout où les municipalités n'ont pas trouvé plus simple et plus conforme à l'élégance d'en gratifier la rivière, sont utilisées par la culture des environs immédiats des cités.

Restent les *produits alimentaires* qui constituent plus des 19/20es

de la masse totale des denrées exportées de la ferme, et dont les résidus sont *l'engrais humain.*

Combien se produit-il de ce dernier en France, et quelle en est la valeur ?

C'est ce que personne ne sait encore au juste.

Ce n'est cependant pas faute d'évaluations. Mais les premières qui ont été faites n'étaient la plupart que des données arbitraires qui variaient du simple au triple suivant les besoins de la discussion. Plus tard, on a tâché de les asseoir sur des bases plus solides. On a calculé la nourriture totale, la quantité de carbone, d'azote, de substances minérales qu'elle contenait, et au moyen de coefficients de réduction que l'expérimentation directe avait fournis, on en a déduit la masse des matières fertilisantes qui devaient rester dans les déjections. Malheureusement cette marche compliquée fourmille de causes d'erreurs, erreurs sur la quantité de la nourriture, erreurs sur sa composition, erreurs sur les coefficients qui ne sont pas les mêmes pour l'enfant et pour l'adulte, pour l'individu bien nourri et pour l'individu mal nourri, pour l'homme sédentaire et pour celui qui travaille au grand air et se fatigue.

La méthode la meilleure et la plus simple serait incontestablement de prendre une agglomération d'habitants, une ville, renfermant toutes les catégories d'individus qui composent la nation et dans les mêmes proportions, et n'offrant rien d'exceptionnel dans la nourriture, et d'y recueillir avec soin toutes les déjections.

Mais, si cette voie est rationnelle, elle n'est pas d'une facile exécution, et quand on a voulu l'appliquer sans préparation et sans tenir compte des causes de pertes, on a souvent commis de grossières erreurs. C'est ainsi qu'un des auteurs qui ont traité ce sujet en dernier lieu, prend comme base la quantité de vidange amenée pendant une année au dépotoir de la Villette, et part de là pour calculer la production de la France entière.

Or, une portion notable de la vidange parisienne, les uns disent moitié, d'autres disent les deux tiers, les trois quarts même, est versée immédiatement dans les égouts. Une autre est conduite directement dans divers établissements de fabrication d'engrais que possèdent les compagnies vidangères. Le reste seulement va au dépotoir. Ajoutons que la composition de la vidange pari-

sienne ne peut non plus servir à déterminer celle de l'engrais humain dans le reste du pays, parce que les habitudes de propreté qui se généralisent à Paris plus qu'ailleurs, amènent dans les fosses des quantités considérables d'eau.

Malgré ces difficultés et ces causes d'erreurs, essayons si avec les données qu'on possède aujourd'hui et en faisant intervenir le coefficient du bon sens, nous ne parviendrons pas à nous rapprocher de la vérité.

On sait ou on croit savoir que l'homme moyen (adultes et enfants des deux sexes) pèse 45 kilogr. en France.

A diverses reprises, on a soumis à la balance et à l'analyse, pendant un certain temps, les aliments et les déjections d'un certain nombre de personnes.

Parmi ces expériences, nous choisirons celles de M. Barral, non-seulement parce que nous sommes certains du soin qui a présidé à leur exécution, mais parce qu'elles ont été faites sous notre climat, sur des personnes de notre race et dont le poids moyen (45,9 kilogr.) se rapproche beaucoup du poids moyen de la population française.

D'après ces expériences au nombre de cinq et qui comprennent trois hommes, une femme et un enfant, la quantité moyenne de déjections liquides et solides a été de $1^k,224$ gr. par jour et par tête. Elle serait donc par année de $446^k,760$ gr. En ramenant ces chiffres au poids de l'homme moyen de France, on aurait, comme produit annuel, 438 kilogr., soit pour nos 36 millions de compatriotes, 15,768,000 tonnes (à 1000 kilogr.) qui contiendraient, au moment de l'émission, 209 millions de kilogr. d'azote (à raison de 13,3 kilogr. par tonne) et 40,445,000 k. d'acide phosphorique (à 2,565 kilogr. par tonne).

Mais, il s'en faut que toute la population soit nourrie comme les personnes soumises aux expériences. De plus, les enfants en croissance qui s'assimilent une plus grande part des aliments que les adultes, sont dans un rapport plus fort dans la population que dans l'expérience. Il convient donc de réduire, sinon le poids total, du moins les proportions d'azote et d'acide phosphorique.

De combien ? C'est ce que nul ne sait.

Pour éviter le reproche d'exagération, réduisons d'un tiers et portons la quantité d'azote à 140 millions de kilogr., et celle de

l'acide phosphorique à 27 millions. Mais, comme on ne pourra jamais employer immédiatement cet engrais, et qu'un séjour quelque peu prolongé dans les fosses occasionne nécessairement le dégagement et la perte d'une partie de l'ammoniaque, il faut encore de ce chef, réduire la quantité d'azote. En la portant à 100 millions de kilogr., nous croyons être plutôt au-dessous qu'au-dessus de la vérité, tout cela, bien entendu, dans la supposition qu'aucune portion de l'engrais humain ne sera perdue dans les cours d'eau, ou dans les profondeurs du sous-sol.

La tonne de vidange au moment de l'emploi ne contiendrait donc plus en moyenne que 6^{k},360 gr. d'azote et 1^{k},710 gr. d'acide phosphorique.

Que vaut cet engrais en argent, en fumier, en produits?

En Flandre, on achète 10 francs les déjections annuelles d'une personne moyenne. A ce taux, on produirait en France pour 360 millions de francs de cet engrais.

En Angleterre, les professeurs Voelker et Way ne portent cette valeur qu'à 7 ou 8 francs. A 7 francs, ce serait encore une somme de 252 millions pour la France.

Si enfin nous partons de la valeur habituellement attribuée aux deux principales substances fertilisantes, nous aurons, pour l'azote, à 2 fr. le kil., 12 fr. 72 c., et pour l'acide phosphorique, à 70 cent. le kil., 1 fr. 19 c., total 13 fr. 91 c. comme valeur de la tonne; mais, entendons-nous bien, de la tonne d'*engrais pur* de tout mélange, de toute addition d'eau, ce qui est une abstraction, car partout on verse les eaux ménagères et beaucoup d'autres choses dans les fosses. Mais, enfin, voilà ou à peu près ce que l'on produit en France, et à ce taux, les 15,768,000 tonnes qui représentent la production annuelle moyenne du pays, vaudraient encore près de 200 millions.

Il est plus difficile de déterminer le rapport de valeur entre la vidange et le fumier.

En Flandre, où on a cependant une longue expérience de cet engrais, les uns considèrent la tonne ou le mètre cube de vidange comme équivalant pour l'effet à 3000 kil. de fumier ordinaire, d'autres à 2000, d'autres à 1000 seulement. Et il faut ajouter qu'en Flandre, ce n'est pas l'engrais humain pur qui sert de point de comparaison, c'est l'*engrais flamand*, ou *courte graisse*,

mélange de déjections humaines, de purin, d'eaux ménagères et souvent de tourteaux.

Mais, eût-on employé de la vidange pure, que cette divergence d'opinions n'aurait rien d'étonnant. L'engrais humain n'a pas la même composition que le fumier de ferme. S'il contient à peu près autant d'azote, il contient en moyenne beaucoup moins de phosphates et surtout beaucoup moins de matières organiques, lesquelles, il ne faut pas l'oublier, agissent sur le sol non-seulement chimiquement, mais encore *mécaniquement*.

De plus, la vidange est un engrais liquide dont tous les éléments constituants sont immédiatement ou presque immédiatement assimilables, et qui, par conséquent, n'a pas à subir les nombreuses chances de pertes que subit le fumier ordinaire pendant sa lente décomposition dans le sol.

On peut donc admettre qu'à richesse égale, la vidange produit plus d'effet et a plus de valeur que le fumier, sauf dans les terres très-pauvres en détritus organiques et où l'action mécanique de ce dernier a une grande importance.

Les faits ont pleinement confirmé cette donnée théorique. Dans les expériences nombreuses auxquelles je me suis livré, le résultat final a été une égalité complète entre la vidange et le fumier que j'employais.

Or, mon fumier, analysé par M. Houzeau, s'est trouvé être (comme tous les fumiers des environs de Paris) exceptionnellement riche en azote, en phosphates, en alcalis, tandis que la vidange qui a servi de terme de comparaison était de la vidange parisienne, largement additionnée d'eau.

Pour ne pas étendre ce sujet outre mesure, je me bornerai au rapprochement suivant, qui permettra de saisir immédiatement les différences entre les deux engrais :

	VIDANGE.		FUMIER.
Azote.	0,350 p. 100	—	0,598 p. 100.
Acide phosphorique. . .	0,067 —	—	0,643 —
Potasse et soude.	0,059 —	—	0,917 —
Matières organiques azotées et non azotées.	2,150 —	—	14,480 —

Ainsi, en azote à peine les trois cinquièmes, en matières organiques environ le septième, en acide phosphorique moins du

neuvième, et en potasse et soude moins du quinzième de ce que contenait le fumier de Vaujours, tel serait le rapport entre la vidange parisienne et ce dernier.

Et néanmoins, il y a eu, je le répète, égalité d'effet, et cela en prenant, non pas la première récolte seulement, mais trois récoltes successives.

De ces faits nous pouvons donc tirer les conclusions suivantes: Puisqu'un engrais de vidange à peu près moitié moins riche que la vidange pure a donné, à poids égal, les mêmes résultats qu'un fumier contenant un cinquième en sus des substances fertilisantes que renferme le fumier ordinaire, la tonne de vidange pure équivaudrait à deux tonnes et demie de fumier ordinaire.

Mettons deux tonnes seulement, pour ne pas être taxé d'exagération, et tirons-en cette conséquence que les quinze millions et demi de tonnes de vidange qui sont annuellement produites en France équivalent, pour la fertilisation du sol et pour l'accroissement de produits qu'on peut en attendre, à trente et un millions de tonnes de fumier, et permettraient de fumer chaque année largement un million d'hectares.

Maintenant, que vaut une tonne de fumier? On l'ignore. Quel en est le prix de revient? On n'en sait rien. Que la vend-on? De 5 à 18 fr.

Je dis que le prix de revient n'est pas connu. Cela tient à ce que l'immense majorité de nos cultivateurs non-seulement n'a pas de comptabilité régulière, mais ne calcule même pas de tête, comme le font les fermiers anglais, qui, eux, sont constamment occupés à chiffrer leurs opérations et à tout résumer en *pounds* et *shillings*, ce qui est peut-être le grand secret de leur habileté et de leur aisance. Ajoutons que ceux de nos agriculteurs qui tiennent une comptabilité quelconque, s'entendent fort peu entre eux sur les bases du compte fumier, et arrivent souvent ainsi aux données les plus disparates.

Des calculs qu'à la suite de mes pérégrinations agronomiques en France j'ai été amené à faire, en vue de la question du bétail, me portent à croire que le prix de revient moyen ne doit pas s'éloigner beaucoup de 10 fr. la tonne dans le centre et le nord de notre pays.

En adoptant ce chiffre et le rapport que j'ai établi entre le fumier et la vidange, les 15 millions et demi de tonnes de ce der-

nier engrais que nous produisons annuellement, représenteraient une valeur de 310 millions de francs, moyenne entre l'évaluation flamande et l'évaluation anglaise.

Du reste, qu'on adopte l'une ou l'autre de ces évaluations ou qu'on les repousse toutes pour en établir de nouvelles plus basses ou plus élevées, là n'est pas la question. Elle est tout entière dans ce grand fait, que l'application de la totalité de l'engrais humain et des résidus cités plus haut à la fumure de nos terres, aurait pour résultat *certain* d'empêcher tout amoindrissement dans la faculté productive de celles-ci, et pour résultat *probable* d'accroître même cette faculté jusqu'à une limite qu'il ne nous est pas donné de connaître; car, si nous ne pouvons empêcher les eaux de la mer d'entraîner à la mer une quantité plus ou moins grande d'éléments nutritifs des plantes, de nous occasionner par conséquent une perte inévitable, malgré tous les efforts qu'on pourrait tenter, il est rassurant de penser que, d'une part, la désagrégation lente mais continue des roches ajoute sans cesse de nouvelles matières minérales assimilables au sol productif, tandis que l'atmosphère, dans certaines conditions données, lui rend l'azote et le carbone qu'elle en a reçus, et souvent au delà; que, d'autre part, la mer, grâce à notre admirable position, fournit un appoint important à notre consommation, et dès lors à la masse d'engrais produits; enfin, que la France importe plus de produits agricoles et surtout plus de matières azotées qu'elle n'en exporte, si bien qu'il semble devoir nous être facile de nous soustraire au sort dont j'ai parlé, et dont nous menace J. de Liébig.

Oui, cela est, cela doit être possible, facile même, mais, nous ne saurions trop le répéter, à la condition expresse d'employer tous les résidus, toutes les immondices signalées, et surtout l'engrais humain, à la fertilisation de nos terres.

Examinons brièvement quels sont les obstacles qui jusqu'à présent se sont opposés à l'utilisation générale de cette dernière substance, et les moyens de les surmonter. Tâchons de justifier le titre de ce travail.

Voyons d'abord ce qui se passe dans les *campagnes* : « Les cultivateurs laissent perdre l'engrais humain qu'ils produisent; comment demander, après cela, que les villes se gênent pour

leur conserver intégralement celui dont elles disposent; comment espérer qu'ils l'achèteront? »

Voilà ce qu'on entend dire dans les conseils municipaux de nos cités.

Il y a du vrai et du faux dans cette assertion. Avouons que, sauf dans les départements du Nord, du Pas-de-Calais, de la Somme, du Haut et Bas-Rhin, de l'Isère et dans l'extrême Midi, où, par parenthèse, il sert spécialement à la fumure des orangers, des rosiers et jasmins, et se transforme ainsi en délicieux parfums, sauf encore dans quelques grandes fermes disséminées sur tout le territoire, l'engrais humain n'est pas recueilli par les cultivateurs comme il devrait l'être. Mais on se tromperait fort, si l'on croyait qu'il est complétement ou en grande partie perdu.

Règle générale, le tas de fumier sert de cabinet d'aisance dans les campagnes, et, si le mélange avec le fumier ordinaire n'est pas le meilleur mode d'emploi, ce n'est pas du moins le plus mauvais; et, quant aux déjections déposées dans les rues des villages, elles sont enlevées et utilisées avec les boues que ramassent de temps en temps quelques individus plus avisés que les autres, ou le fermier des boues, quand la commune a eu le bon esprit d'affermer ses boues et a trouvé preneur, ce qui se voit déjà dans beaucoup de villages, et ce qui est pour moi un des signes les plus manifestes du progrès.

Du reste, si nos campagnards n'en sont pas encore à recueillir cet engrais avec le soin qu'il mérite, à imiter, par exemple, leurs confrères de Chine, qui construisent dans les endroits fréquentés de charmants petits boudoirs, où ils invitent poliment les passants à venir se débarrasser de leur superflu, ce n'est pas tant à cause de la répugnance qu'il leur inspire, que parce qu'ils n'en apprécient l'importance ni pour la valeur ni pour la quantité.

En général, nos paysans n'ont pas les nerfs délicats, et ils sont positifs au suprême degré. Qu'on leur prouve clairement, c'est-à-dire par des faits, que cet engrais est supérieur au fumier ordinaire, et on les verra bientôt le rechercher avec le soin qu'y mettent les cultivateurs de la Flandre.

On parle beaucoup, et avec raison, d'introduire l'enseignement de l'agriculture dans les écoles de villages. Le plus grand obstacle à cela est dans l'ignorance de la plupart des instituteurs *en fait*

d'agriculture, et dans l'absence de bons livres spéciaux pour chaque région. Mais voici un thème tout trouvé, l'utilisation de l'engrais humain. L'instituteur n'aura pas à craindre ici de se tromper, comme il pourrait le faire sur d'autres sujets agricoles, car partout on en fabrique et partout la terre s'en trouve bien, et la rue et la rivière s'en trouvent mal. Qu'il en fasse même le texte de ses modèles d'écriture; ce sera plus utile que les morceaux d'éloquence auxquels ses bambins ne comprennent rien.

Mais ceci ne concerne que la future génération. C'est quelque chose; ce n'est pas tout. Il faut agir sur la génération présente, et là l'exemple seul produira un grand et prompt effet, et pour l'avoir, cet exemple, il faut les vidanges des villes, car celles qu'on produit dans chaque ferme sont en quantités trop faibles relativement aux autres engrais pour appeler l'attention, pour donner lieu à une démonstration frappante. Cela a l'air d'un paradoxe, et ce n'est cependant que vérité: l'engrais humain des campagnes ne sera recueilli, apprécié, utilisé comme il doit l'être que lorsque l'emploi de la vidange des villes en aura fait connaître toute la valeur.

Arrivons donc aux *villes,* ces grands producteurs de la chose. Quel dommage qu'il n'y ait pas sous chacune d'elles un petit abîme sans fond. Comme les édilités se seraient empressées d'y faire aboutir toutes les fosses, afin d'y ensevelir à tout jamais leur affreux contenu. Malheureusement, cela n'existe pas; c'est un oubli de la Providence. Il faut en prendre son parti, et aviser à un autre moyen. On a le choix entre ces deux alternatives : enrichir les terres ou infecter les cours d'eau.

Ainsi formulée, la question ne semble pas douteuse. Mais le mal est toujours plus facile à faire que le bien. Aussi, est-ce la seconde solution que l'immense majorité des villes a adoptée.

Du reste, soyons juste. A une époque antérieure, encore peu éloignée, celles qui auraient choisi la première en eussent été pour leurs efforts patriotiques. L'agriculture était encore trop arriérée pour apprécier le trésor qu'on lui eût offert.

Dieu soit loué, il n'en est plus ainsi, et ce même cultivateur, qui aujourd'hui s'occupe à peine des faibles quantités qui se produisent chez lui, mettrait probablement un grand empressement à se procurer les fortes quantités que la ville pourrait lui livrer,

s'il avait déjà été édifié par quelques faits, et surtout si l'autorité municipale voulait bien lui faciliter, ou, du moins, lui rendre moins difficiles l'enlèvement et le transport.

L'exemple récent de Lyon en est la preuve. Lyon, qui est à cheval sur deux fleuves et dans les meilleures conditions pour les empester tous deux, a trouvé plus conforme à l'intérêt du pays de livrer son engrais à l'agriculture, et, du jour au lendemain il a trouvé preneurs pour ses 200000 mètres cubes, dans les communes du voisinage qui, à cette fin, et sous les auspices et la direction de la ville, se sont toutes associées et ont formé un syndicat. Et, comme une bonne action n'est jamais sans récompense, Lyon retire de celle-ci un revenu net annuel de 200000 fr.

La culture en paye 400000, sans les frais d'enlèvement et de transport qui font plus que doubler la somme, ce qui ne lui semble pas trop lourd, puisqu'il n'y a jamais assez de marchandise pour suffire aux demandes. Et notez ceci : quoique cette organisation ne date que d'une dizaine d'années, on constate déjà un accroissement remarquable d'aisance dans toutes les communes qui en font partie. Et les détaillants de Lyon n'ont pas été des derniers à s'en apercevoir.

Qu'a-t-il fallu pour arriver à ce résultat? Une entente de la ville avec les communes voisines, la création d'un service simple et peu coûteux qui représente le syndicat et sert d'intermédiaire entre la ville et les acheteurs, c'est-à-dire les propriétaires citadins et les cultivateurs; enfin, une convention avec un entrepreneur qui, pour 75 c. par mètre cube de matière, se charge de désinfecter et de fournir les appareils d'extraction, ainsi que l'ouvrier nécessaire pour en diriger l'emploi. Les cultivateurs exécutent le travail et se fournissent de tonneaux roulants, tous établis sur le même modèle.

Il n'y a là rien de bien compliqué, rien que ne puisse faire tout autre grande et même moyenne cité.

Reste à savoir si l'on trouvera partout un nombre suffisant de cultivateurs assez intelligents et assez entreprenants pour accepter et utiliser immédiatement la totalité des vidanges disponibles.

Peut-être pas partout pour la *totalité*. Mais, pour une portion, oui, portion qui deviendra bientôt le tout, si la ville, qui, en définitive, y est aussi intéressée que la campagne, veut bien s'y prê-

ter, faire ce que la culture ne peut faire, et surtout se départir de tout ce qui n'est pas strictement nécessaire dans les règlements concernant la salubrité, règlements faits la plupart bien plus en vue du comfort et de l'élégance, qu'en vue de la santé publique.

« Il en est de l'engrais comme de l'argent, on n'en a jamais trop, on n'en a jamais assez. » Voilà ce qu'on entend dire d'un bout à l'autre de la France, même aux plus ignorants paysans; et cet aveu, qui révèle un progrès remarquable dans leurs idées, laisse assez prévoir avec quel empressement ils accepteraient ce nouvel appoint à leurs fumiers.

Au reste, un fait le prouve mieux que tous les raisonnements, c'est la facilité avec laquelle, même dans les contrées les plus arriérées, ces hommes qui tiennent tant à l'argent, parce qu'ils ont tant de peine à le gagner, dépensent de grosses sommes en acquisitions d'*engrais artificiels*, malgré les fraudes nombreuses dont ils ont été et sont encore journellement victimes; car, on le sait, la fabrication des engrais commerciaux a, comme beaucoup de choses dans ce monde, débuté par le mauvais côté, et c'est seulement depuis peu que, grâce à des règlements sévères, et grâce surtout à quelques hommes honorables et instruits qui s'y sont adonnés, cette industrie, si intimement liée aux grands intérêts du pays, tend à se moraliser.

Revenons aux villes. En général, voici l'état actuel des choses autour des grands centres de population : la banlieue fait de la culture maraîchère et emploie pour cela les boues de rues et une portion des fumiers (de chevaux et de vaches laitières), produits dans la ville. Au delà, règne la culture ordinaire, petite et moyenne, qui, jusqu'à 10 et même 12 kilomètres, repose en partie sur les fumiers tirés de la ville, par conséquent, tient peu de bestiaux et vend pailles et fourrages.

Dans ces deux zones, le besoin d'engrais se fait moins sentir qu'ailleurs, et la vidange rencontrerait probablement peu d'accueil, d'autant plus qu'il s'y trouve des châteaux, villas et maisons de campagne en plus ou moins grand nombre, dont les habitants n'entendent pas subir de gêne et sentir de mauvaise odeur.

Mais plus loin vient une zone où la culture—presque toujours un mélange de grande, petite et moyenne— sollicitée par l'appât

du marché, vend encore à la ville une partie de ses pailles et fourrages, mais n'en tire plus de fumier, à cause de la distance, où par conséquent l'engrais est rare. Là est le débouché naturel de la vidange. Là, d'ailleurs, la grande culture, plus hardie et plus entreprenante que la petite, parce qu'elle est plus éclairée et plus riche, n'hésitera pas à répondre à l'appel et tracera la voie que prendront à sa suite ses deux cadettes.

L'important et le difficile est d'y faire arriver l'engrais.

On sait que c'est une matière qui, en raison de son peu de valeur, ne supporte pas de longs transports. De plus, on ne peut l'amener comme le fumier, par des voitures de retour. Il faut un véhicule spécial, le tonneau monté, qui n'est propre à rien autre. Enfin, l'extraction et le chargement se font de nuit, toutes choses qui augmentent singulièrement les difficultés et les frais.

Si la culture doit seule en supporter tout le poids, il faudra un engrais bien pur et bien riche, et des conditions bien favorables de viabilité, d'emploi et de productions, enfin un prix d'acquisition bien bas pour qu'elle puisse l'amener jusqu'à 25 kilomètres.

Je parle de la grande culture. Quant à la petite, elle ira plus loin, parce qu'elle ne calcule ni son temps ni ses peines; mais il faut pour cela qu'elle ait reconnu les avantages de cet engrais.

Il pourra donc arriver qu'avec les meilleures dispositions de la part de la ville, comme de la part de la culture, cette dernière ne puisse utiliser, du moins dans les premières années, qu'une portion de l'engrais produit, en supposant une organisation analogue à celle de Lyon.

Il est d'ailleurs une circonstance qu'on ne doit pas oublier, c'est que, à mesure que les habitudes de propreté se généralisent, que l'eau est fournie aux habitants des villes avec plus d'abondance, les fosses d'aisances en reçoivent davantage et la vidange est plus diluée, d'où il résulte que le progrès sous ce rapport si essentiel amènera forcément un amoindrissement dans la richesse de l'engrais et partant une réduction dans la distance à laquelle il pourra être transporté. Si même nous arrivons un jour au point où en sont les Anglais, ce qui est désiré par beaucoup d'hommes compétents, il ne pourra plus être

question de transports au tonneau, même à faibles distances, ni même de fosses; il faudra un changement radical dont nous dirons quelques mots. Mais, en attendant qu'on en soit là, rappelons que producteurs et acheteurs, c'est-à-dire les villes et la culture, ont heureusement des moyens simples et peu coûteux de suppléer au tonneau, sinon partout, du moins dans certaines conditions données, et que les premières ont presque toutes, les unes depuis longtemps, d'autres depuis peu, un débouché qui a été longtemps le seul pour la denrée en question, débouché que nous n'avons pas encore mentionné, et que nous ne pouvons passer sous silence, il s'agit de la *fabrication* de la *poudrette*. Parlons-en tout de suite pour n'y plus revenir.

Comparé au coulage dans les égouts et les rivières, ce mode d'emploi de la vidange est certes un grand progrès, même au point de vue hygiénique. Londres se trouverait incontestablement moins mal du système des fosses d'aisances et de la proximité de quelques établissements analogues à celui de Bondy, que de la présence de ce colossal égout, de cet infect cloaque qu'on appelle la Tamise, et dans lequel, deux fois par jour, la marée remue, soulève, fait bouillonner et tourbillonner, passer et repasser sous les ponts les immondices du jour, et celles de la veille, de l'avant-veille et des années précédentes.

A plus forte raison est-ce un progrès sous le rapport agricole.

Et cependant, cette fabrication n'est pas autre chose qu'un déplorable gaspillage des principes fertilisants les plus précieux; car elle n'utilise que la matière solide en suspension, et non-seulement cette matière est en très-faible proportion, mais encore elle est moins riche que les urines en substances azotées, phosphatées et alcalines.

Ainsi, dans les expériences de MM. Barral et Valentin, un homme produisait par jour, 1^k,635 d'urines et seulement 0^k,166 de matières fécales qni, transformées en poudrette, se réduisent au 5e, soit 33 grammes. De sorte que les déjections journalières de 100 adultes, s'élevant à 1 800 kilog., ne donneraient que 33 kilog. de poudrette, et cette transformation n'est obtenue que par un séjour en plein air prolongé pendant 2 années.

Si, malgré l'absence de tout mélange frauduleux, on obtient un peu plus (155 met.^{3} de poudrette, pour 1200 met.^{3} de matière)

dans la fabrication de Bondy, cela tient à ce qu'on n'y envoie que la portion la plus dense. Le liquide est, comme on sait, jeté dans les égouts.

C'est évidemment une méthode destinée à disparaître, d'autant plus qu'elle ne peut s'accorder avec la tendance signalée à augmenter la proportion d'eau dans les vidanges.

Néanmoins, comme débouché temporaire pour tout ce que la culture ne peut utiliser aujourd'hui, cette industrie intéresse les villes et les campagnes.

Voyons les autres *modes de transport*.

Presque toutes les villes imqortantes sont situées sur des cours d'eau plus ou moins navigables. Quel inconvénient y aurait-il à ce qu'un bateau ponté, amarré au quai, servît de dépotoir et reçût la nuit le produit des fosses?

J'ai, sur le canal de l'Ourcq, un bateau de ce genre qui me sert au transport de la vidange, et je puis affirmer qne quand il est couvert, nul ne se douterait de l'espèce de marchandise qu'il contient.

Une fois plein, ce bateau descendrait ou remonterait la rivière, et distribuerait son contenu aux riverains, au moyen d'une pompe foulante, munie d'un boyau en toile goudronnée, en cuir ou en caoutchouc.

Ce moyen n'a encore été appliqué qu'à Paris sur le canal de l'Ourcq, pour une portion des vidanges; mais il me paraît si pratique, si simple, si avantageux, que je ne puis voir la cause de son absence que dans les réglements de police.

Que les autorités municipales lui permettent de se produire, et on le verra bientôt exécuté, ici par un entrepreneur de vidange, là par une réunion d'agriculteurs. Le tout au plus grand profit du pays.

Voici quelques chiffres qui pourront servir: le transport des solides, du dépotoir à Bondy, qui s'effectue encore aujourd'hui par bateaux, coûte en moyenne (ramassage et entonnage compris), 1 fr. 19 par mètre pour une distance de 10 kilom. Pour la même distance (de Bondy au pont de Vilpinte) le transport en *vrac*, effectué avec mon bateau et mes chevaux, me revient en moyenne, droits de navigation compris, à 26,5 centimètres par mètre.

M. le Préfet de la Seine, qui, comme tous les esprits supérieurs,

comprend l'étroite solidarité qui unit les villes et les campagnes, et qui apprécie d'ailleurs parfaitement tout ce que gagnerait Paris à l'utilisation complète et directe de ses vidanges, a provoqué et favorisé un moyen plus hardi encore, le *transport par chemin de fer*. Sous son inspiration et avec l'aide et les indications du savant ingénieur, M. Mille, l'habile constructeur M. Gargan a fait un wagon-citerne, contenant 10 m. cubes. Grâce à ses puissants protecteurs, il a obtenu du chemin de fer de l'Est le transport au taux réduit de 2,5 centimes par tonne et par kilom. et il livre l'engrais à 10 fr. la tonne, à cette contrée si déshéritée qu'on nomme la Champagne pouilleuse et qui n'attend que des éléments fertilisateurs pour devenir aussi riche et aussi productive que toute autre.

Que les administrations municipales et les chemins de fer veuillent bien s'y prêter, et on pourra faire la même chose partout où passent ces derniers. Les chiffres ci-dessus indiquent jusqu'où on pourra transporter l'engrais. Ajoutons que la construction du wagon-citerne permet de l'employer après un simple lavage, à des transports de retour pour beaucoup de marchandises. Ainsi, les wagons Gargan doivent spécialement servir à ramener à Paris du vin de Champagne..... en bouteilles.

Il est enfin un dernier moyen pour expulser hors des villes ces précieuses mais puantes et gênantes matières, c'est celui qui sert pour toute la portion des vidanges parisiennes non condamnée aux égouts, et qui est dû à l'initiative et à la persévérance d'un savant et illustre vétéran du corps des ponts et chaussées, M. l'inspecteur général Mary; je veux parler de la conduite tubulaire qui va souterrainement du dépotoir de la Villette aux bassins de Bondy, et dans laquelle, au moyen de pompes mues par une machine à vapeur, les matières sont refoulées à 10 kilom. de distance et à $2^{m},50$ de hauteur.

Ce moyen est cher. Il grèverait les budgets municipaux d'une dépense plus ou moins forte pour l'établissement et d'une dépense annuelle pour le fonctionnement et l'entretien. Mais, en revanche il permet d'atteindre les localités où la marchandise trouvera le plus grand nombre de preneurs et les plus hauts prix; il permet d'échelonner les livraisons sur un long parcours, par des fontaines-marchandes, et d'éloigner à volonté les lieux d'emploi du centre de population; enfin, et cette considération

n'est pas sans importance, c'est le moyen qui s'accordera le mieux avec l'état futur probable de l'organisation vidangère des villes, c'est-à-dire avec la dilution de plus en plus grande des matières.

Ainsi, en partant de l'état actuel des choses, c'est-à-dire de la fosse d'aisances fixe ou mobile et du système ordinaire d'extraction, les villes grandes, moyennes et petites, ont comme moyens de se débarrasser de leurs vidanges, utilement pour leurs finances, utilement pour le pays, d'abord et transitoirement, la fabrication de la poudrette; puis, simultanément et plus tard exclusivement, la vente directe à la culture, soit par une organisation semblable à celle de Lyon, soit par des entrepreneurs spéciaux qui établiraient les modes de transport les mieux appropriés aux circonstances locales, bateaux-dépotoirs, wagons-citernes sur chemins de fer, soit enfin par une ou plusieurs conduites de refoulement, amenant l'engrais sur les points les plus favorables au débit.

Mais l'état actuel des choses, dans les villes, n'est pas un état normal, remplissant toutes les conditions de salubrité voulues, et répondant complétement à cette grande loi que nous avons énoncée de rendre à la culture l'intégralité de l'engrais humain.

Sans doute la vidange est plus gênante que nuisible; sans doute son plus grand défaut est son odeur qui répugne à tout le monde. On ne peut cependant nier que la fermentation n'y développe et n'en dégage des gaz éminemment délétères, l'hydrogène sulfuré et le sulfhydrate d'ammoniaque, et que la fosse d'aisances, même quand elle est parfaitement étanche, qu'elle ne donne lieu à aucune infiltration, ce qui est rare, ne soit un foyer d'émanations infectes et une cause permanente d'insalubrité que renferme chaque habitation. Les évents qu'on y ménage pour l'aérer déplacent l'inconvénient sans le détruire; la rue reçoit ce que la maison rejette. La ville n'en vaut pas beaucoup mieux.

Il en est à peu près de même au point de vue agricole: ces gaz méphitiques, ces odeurs infectes qui s'échappent de la masse en décomposition, et vont porter le malaise parmi les habitants de la maison, sont autant de principes utiles pour la végétation; poison là, nourriture ici.

La question de salubrité, ou, pour parler plus exactement, l'idée seule d'avoir en magasin, dans chaque demeure, un amas

de matières en putréfaction, a tellement impressionné l'imagination cependant si calme de nos voisins d'outre-Manche, que depuis longtemps ils ont rompu avec la fosse, et disposé la plupart de leurs maisons de ville de manière à jeter immédiatement, à mesure de leur production, toutes les immondices, déjections et eaux ménagères réunies, dans les égouts. Le moyen est simple : un conduit en grès et à forte pente, partant de l'extrémité inférieure du tuyau de chute, met chaque maison en communication directe avec l'égout qui passe sous le centre de la rue, et vient déboucher dans la rivière; c'est ce qu'on appelle le *drainage des villes*. Il est à peine nécessaire d'ajouter que ce système, qui est l'idéal de la perfection pour beauceup de nos édilités, a, tel qu'il est, ce double résultat : infection de la rivière; perte complète de l'engrais pour la culture. Cette perte est plus grave en Angleterre qu'ailleurs, non-seulement parce que les Anglais sont les plus grands mangeurs de l'Europe, mais surtout parce que le rapport des citadins aux campagnards y est plus fort qu'ailleurs [1]. De là cette nécessité de recourir aux engrais du dehors, cette ardeur à accaparer toutes les substances fertilisantes des autres pays, et cet immense commerce d'importation d'engrais, toutes choses qui n'ont pu et ne pourront jamais exempter l'Angleterre de la terrible obligation de tirer de l'étranger au moins le tiers de sa nourriture en temps ordinaire, et qui n'ont pu empêcher que la fertilité du sol anglais ne soit en voie de décroissance, comme l'indiquent une foule de faits, de plaintes, d'aveux que renferment journellement les recueils agronomiques du pays, et comme le dit très-explicitement, dans sa lettre au *Times*, le célèbre coutelier-agriculteur, l'alderman Mechi.

Et, à cette occasion, je ne puis m'abstenir d'une réflexion, c'est que l'homme, en Angleterre comme ailleurs, est décidément un pauvre être, qui repousse, non ce qui lui est nuisible, mais ce qui blesse ses préjugés, ses répugnances, sa vanité. Cette lettre au *Times*, véritable monument d'un intelligent et ardent patriotisme, n'a valu à son auteur que des critiques et des sarcasmes. Toutefois, elle n'en a pas moins éveillé l'attention

1. Trois quarts citadins, un quart campagnards. En France, trois septièmes des premiers pour quatre des seconds.

publique, et elle a eu la bonne fortune de provoquer, de la part de l'illustre chimiste de Munich, cette réponse à laquelle nous avons emprunté les citations qui précèdent.

Si le drainage des villes devait avoir nécessairement le double résultat signalé, nous ne l'aurions mentionné ici que pour le repousser.

Mais, déjà plusieurs années avant les lettres en question, un homme de génie, M. Chadwick, président du bureau de santé de Londres, avait, quoique étranger à l'agriculture, entrevu cette grande loi de restitution; il avait compris que les immondices des villes, même avec l'expulsion immédiate, ne cesseraient d'être un embarras et un fléau pour l'humanité tant qu'elles ne seraient pas rendues au sol productif, tant qu'elles ne seraient pas décomposées et absorbées par la végétation. Il avait donc combiné, avec le système indiqué d'évacuation, un second système qui en était le corollaire obligé, et qui, réunissant les matières dans un égout collecteur, au lieu d'en empoisonner la rivière, les refoulait par une ou plusieurs conduites dans la campagne, où il les distribuait par un système analogue à celui de la ville, c'est-à-dire par un réseau de conduites souterraines, munies, de distance en distance, de bouches d'arrosage venant affleurer à la surface. Un boyau flexible, terminé par une lance, se fixait sur la bouche, et permettait de répandre le liquide sur le sol avec la régularité voulue.

Ajoutons que M. Chadwick, partant de la longue expérience qu'a l'Angleterre sous ce rapport, repousse absolument les égouts-galeries à grandes dimensions, pour les vidanges, et les remplace par des égouts tubulaires en grès, à petite section, à surface lisse, à courant rapide.

C'est ce qu'on a nommé le *système tubulaire*.

On le voit, ce système est complet, et les deux applications qui en ont été faites (à Rugby et à Watford) ne laissent plus de doutes sur ses avantages au double point de vue de la salubrité et de l'agriculture.

Mais c'est un changement radical. Non-seulement plus de fosses, mais plus d'égouts tels qu'ils existent, ou du moins ceux-ci ne servant plus qu'à l'écoulement des eaux pluviales et des immondices qu'elles entraînent, ainsi qu'au passage des égouts tubulaires.

Une révolution pareille est bien de nature à faire reculer les administrations municipales, d'autant plus qu'il y a encore des difficultés non résolues. Tout ce qu'on pourrait désirer et leur demander, ce serait d'en essayer l'application aux quartiers qui n'ont pas encore d'égouts, et surtout aux quartiers neufs; puis, l'expérience étant faite et concluante, d'étendre cette application successivement aux anciens quartiers, rue par rue, jusqu'à ce que la ville entière fût *tubulée.*

Quant à faire du *drainage citadin* avec nos égouts actuels à grandes sections et à libre accès de l'air, nous craignons, malgré l'autorité de quelques hommes très-compétents, que ce ne soit le pire de tous les systèmes. Et ce n'est pas tant au point de vue agricole qu'au point de vue de la salubrité que nous disons cela; car l'agriculture peut s'accommoder beaucoup mieux qu'on ne le pense d'un engrais très-dilué, et si, comme nous essayerons de le prouver, on peut se procurer sur une foule de points une force motrice considérable et économique, il n'en coûtera pas beaucoup plus de refouler 200 tonnes que d'en refouler 50 par jour, une fois le service organisé.

Mais, à moins de circonstances tout à fait exceptionnelles, l'égout actuel, recevant toutes les déjections, n'est plus à nos yeux que la fosse étendue, la fosse portée à sa plus haute puissance d'insalubrité.

Ce n'est pas l'eau qui manque à Londres et dans d'autres grandes villes anglaises; les moyens d'écoulement et de nettoyage y sont habilement combinés; les chasses à grande eau, plus multipliées qu'on ne pourrait le faire ailleurs, tout, jusqu'aux habitudes de la population qui, pour chaque service où l'eau intervient en emploie quatre fois autant que les Français, concourt à accélérer le courant, à empêcher les dépôts; et, néanmoins, pour peu que la température s'élève, que l'été se rapproche de nos étés, comme en 1858, la moitié de Londres devient inhabitable[1]. Le lait de chaux, qu'à Londres on a eu l'idée de faire circuler dans les égouts, en pareille circonstance, est un vieux moyen dont l'inefficacité ou plutôt l'action nuisible est

1. On sait que pendant cet été qui, pour la sécheresse et la chaleur, équivalait à peine cependant à un été ordinaire de Paris, les séances du Parlement et des Cours de justice durent être suspendues à plusieurs reprises pour cause d'infection.

parfaitement démontrée aujourd'hui. C'est donc là un système auquel le simple bon sens force à renoncer.

On avait beaucoup compté, à Paris, sur les *appareils séparateurs* qui conservent les solides et laissent écouler les liquides. On avait cru y trouver une solution si simple et si complète de toutes les difficultés, que la préfecture de police en avait prescrit l'adoption générale en 1854. Les liquides urineux et autres s'écoulaient directement dans l'égout à mesure qu'ils arrivaient dans l'appareil, et on supposait qu'ils ne formeraient point de dépôts sur leurs passages. Les solides s'accumulaient dans l'appareil ou dans la fosse; mais, grâce à la faible proportion pour laquelle ils entrent dans la masse totale, les dépenses et les inconvénients de l'extraction se réduisaient considérablement. L'agriculture, ajoutait-on, n'y perdra rien; au contraire, car les liquides qu'on écoule n'ont aucune valeur, et on lui conserve mieux que par l'ancienne méthode les matières solides, les seules précieuses pour elle.

Heureusement pour la pauvre agriculture, dont les intérêts sont parfois si étrangement défendus, heureusement aussi pour la santé publique, que les faits vinrent donner un prompt démenti aux prévisions. Bien entendu, je ne parle pas de faits agricoles; ceux-là ne comptent pas. Il s'agit de faits concernant la salubrité. On constata, ce qu'on aurait pu prévoir facilement, que dans les égouts où passaient les liquides en question, il s'était formé un enduit visqueux, adhérant fortement aux parois, éminemment putrescible, qui, alternativement mouillé et desséché, se décomposait promptement et répandait une odeur infecte. On constata de plus que l'extraction des matières solides présentait des difficultés et des dangers tout particuliers. Un accident grave survenu rue du Puits-Vendôme fit enfin renoncer à ces appareils[1].

Encore, ce me semble, un système à rayer; et, remarquez-le bien, il en sera ainsi de tous ceux qui violent cette grande loi de restitution des immondices à la terre; il en sera ainsi même des gigantesques travaux qu'on exécute en ce moment à Londres, où, pour éviter d'accroître encore l'infection de la Tamise, on établit, parallèlement sur les deux rives du fleuve, deux grands

1. M. Beaudemoulin, *Assainissement de Paris*, 1858, chez Dalmont et Dunod.

égouts collecteurs où se déchargeront tous les autres égouts, et qui doivent conduire les eaux résiduaires de l'immense capitale jusqu'à un point où l'on espère que la marée ne pourra plus les ramener à Londres.

Depuis que l'attention publique est éveillée en Angleterre sur cette question des vidanges, beaucoup de projets et de systèmes ont été mis en avant. Aucun, néanmoins, ne paraît avoir grande chance d'être adopté généralement. Le problème, du reste, est d'une solution difficile, plus difficile en ce pays qu'ailleurs, à cause de l'énorme quantité d'eau ajoutée à la vidange. L'état actuel, le coulage dans les rivières, est condamné, tant au point de vue de la salubrité qu'au point de vue de l'agriculture. D'un autre côté, le public ne veut pas revenir aux fosses d'aisances, et les municipalités reculent devant les dépenses du système tubulaire complet.

On avait cru tourner la difficulté en séparant les matières solides par l'addition d'un lait de chaux et par la filtration.

Mais ce moyen, appliqué sur plusieurs points, n'a pas donné de résultats satisfaisants. A Leicester, où il fonctionne en grand pour la presque totalité des vidanges de la ville, il a exigé une dépense d'établissement à peu près aussi élevée que celle qu'aurait nécessitée le système tubulaire complet. On obtient, il est vrai, par d'ingénieux procédés de compression, une assez grande quantité de résidu solide qui se vend comme engrais; mais ce résidu est en majeure partie composé de chaux, et sa valeur comme engrais ne couvre pas les frais de fabrication. On a constaté, d'ailleurs, que les eaux, à leur sortie de l'usine, sont presque aussi chargées qu'à leur entrée.

Il est un dernier moyen qui s'est produit récemment, et qui, sous certain rapport et dans certaines conditions données, peut offrir des avantages sérieux, c'est l'emploi de la *terre sèche* comme absorbant et désinfectant.

Quoi qu'en disent nos voisins, ce moyen n'est rien moins que neuf. Il y a longtemps que l'on connaît les propriétés absorbantes de l'argile et de l'humus, et qu'on en fait usage. La fabrication du *noir animalisé* qui fit tant de bruit dans le temps, reposait en partie sur cette propriété. Seulement, l'inventeur, M. Salmon, afin d'accroître l'action absorbante de la terre, choisissait de préférence celle qui était la plus riche en matières or-

ganiques. Il la soumettait à une espèce de cuisson dans des cylindres clos, de façon à transformer en charbon la totalité de ces matières. Ce charbon, réparti dans toute la masse en parcelles d'une extrême ténuité, agissait, comme on le pense bien, avec une très-grande puissance. Mais sa présence n'est pas indispensable. J'ai constaté bien souvent que de la terre argileuse, simplement desséchée et émiettée, ou mieux encore brûlée à l'air libre, comme cela se fait dans l'écobuage, agissait aussi avec beaucoup d'efficacité.

Les Anglais pourraient tout au plus revendiquer le mode d'application. Au lieu de n'ajouter la terre qu'après l'extraction des matières, ils la mettent dans les lieux mêmes, à mesure que la vidange y est déposée; elle sert, par conséquent, à assainir la maison.

Mais cette méthode n'est pas plus nouvelle que le principe. Elle est connue et généralement employée depuis des milliers d'années en Chine, et il y a douze ans que je m'en suis servi dans ma ferme, moins pour enlever la mauvaise odeur (les lieux étaient dans une cour), que pour empêcher toute déperdition de substances fertilisantes, ainsi que pour mettre immédiatement l'engrais sous une forme qui offrît le plus de facilité pour l'emploi, et inspirât le moins de répugnance aux ouvriers. J'ajouterai que le récipient était, non pas une fosse fixe, mais un grand baquet couvert qu'on vidait facilement.

Je crois qu'avec des fosses fixes, et même avec nos fosses mobiles ordinaires, d'une capacité de 250 litres environ, et n'ayant qu'une ouverture circulaire de 0m,20 de diamètre, ce moyen ne serait pas applicable. L'extraction présenterait des difficultés très-grandes, car la terre se tasse fortement; de plus, la masse à transporter serait énorme.

On atténuerait ces difficultés sans cependant les détruire, en employant de la terre préparée suivant la méthode Salmon, ou comme le conseille le savant auteur de l'ouvrage intitulé l'*Engrais humain*, M. Maxime Paulet, de la terre mélangée à du poussier de charbon; il en faudrait moins, et elle ne se tasserait pas autant.

Malgré cela, nous considérons cette méthode comme à peu près impraticable dans les grandes cités; en revanche, nous la croyons excellente pour la campagne, dans les grandes comme

dans les petites fermes, et jusque chez les ouvriers ruraux, pourvu qu'ils aient un coin de terre auquels ils puissent appliquer l'engrais. Nous la croyons bonne encore chez les propriétaires citadins qui ont un jardin d'une certaine étendue, en un mot partout où le propriétaire pourra utiliser lui-même l'engrais ainsi obtenu, faire vider fréquemment par ses propres ouvriers, et se procurer la terre nécessaire sans frais et à mesure des besoins.

Dans des conditions pareilles où l'on peut compenser la qualité par la quantité, toute terre pas trop sablonneuse ou trop calcaire (comme la craie) est bonne. L'essentiel est qu'elle soit sèche et bien émiettée. Si l'on peut, sans frais, lui faire subir un commencement de cuisson par le procédé employé dans l'écobuage, elle n'en vaudra que mieux. Je préviens seulement que lorsqu'on n'opère pas sur des gazons d'herbages ou de bruyères, ou sur une terre très-riche en détritus végétaux, une terre tourbeuse, par exemple, et en même temps très-sèche, on est obligé de mettre sous le tas de mottes une certaine quantité de combustible, branches, brindilles, tiges sèches de porte-graines, feuilles sèches et autres matériaux semblables qu'on a presque toujours sous la main dans les fermes et dans les jardins. C'était ordinairement ainsi que je procédais.

Quelle proportion de terre faut-il? Cela dépend nécessairement de la nature de celle-ci. J'employais en volume à peu près une fois et demie de terre, c'est-à-dire environ 60 litres pour 35 à 45 litres de vidange. M. Salmon n'en mettait qu'un peu plus de moitié; mais sa terre était plus riche en charbon que la mienne.

On peut, du reste, commencer par de faibles quantités, et revenir à la charge si l'on s'aperçoit que l'effet n'est pas complet. On trouvera que, suivant la terre et même suivant le temps, il en faudra des proportions très-variables. Ainsi, j'ai reconnu qu'à la dose indiquée, la terre *écobuée* enlevait presque toujours l'odeur instantanément, tandis que la même terre (argilo-sablonneuse), simplement desséchée au soleil, la laissait subsister, mais faible, plus ou moins modifiée.

Je faisais préparer ma terre d'avance en temps sec et chaud, et je la conservais dans une grande tonne défoncée, placée sous un hangar. Il est bon cependant de ne pas en faire une trop grande provision; car, en vieillissant, elle paraît perdre de son efficacité.

Il m'a semblé que c'était surtout le cas pour celle qui avait été écobuée.

La règle était de mettre de la terre après chaque selle; mais, comme l'odeur importunait fort peu, on n'en mettait qu'une fois par jour, et même tous les deux jours.

Le mélange, retiré du récipient (quand celui-ci était plein), était amoncelé sous le hangar où il restait jusqu'au moment de l'emploi. S'il se trouvait trop humide, on y rajoutait un peu de terre neuve.

Voilà pour ce qui concerne la production et l'expulsion hors des demeures de cette repoussante matière que, par une dérision de la nature, l'homme, ce roi de la création, est condamné à produire, qui l'accompagne partout, et dont il porte toujours une certaine provision dans son individu, matière qui, suivant ce qu'il en fait, peut être pour lui une cause de mort ou un puissant moyen d'assurer son existence.

Voyons maintenant l'*emploi agricole* qui doit précisément lui donner ce dernier caractère.

Je serai court, je me bornerai aux points saillants et bien constatés.

Et d'abord commençons par repousser le préjugé qui attribue à cet engrais une action marquée et défavorable sur la *saveur des plantes*. J'ai fait, sur ce sujet, de nombreuses expériences qui toutes sont venues infirmer cette opinion. Non-seulement les céréales et les racines, mais même les plantes potagères, choux, salades, radis, asperges, oseille, épinards, obtenues dans une terre vidangée, se sont montrées complétement exempts de saveur et d'odeur rappelant la matière. Si d'autres personnes ont eu un résultat contraire, cela tient, ou à une idée préconçue (et on sait quelle influence elle peut avoir en pareille circonstance), ou à une manière défectueuse de procéder dans l'emploi de l'engrais : on l'avait appliqué trop tardivement sur les plantes en végétation, dans un état trop concentré, et la pluie n'avait pu débarrasser les parties arrosées des particules d'engrais qui y étaient restées adhérentes.

Quant aux bestiaux, j'ai nourri des vaches alternativement avec des fourrages venus sur vidange et avec d'autres de même nature mais venus sur fumier, et j'ai constaté que ces animaux consommaient les premiers aussi bien et aussi complétement

que les seconds, que le rendement en lait était resté le même, que le lait des fourrages vidangés était un peu plus riche en beurre, enfin que la saveur du lait, du beurre et du fromage était également excellente avec l'une comme avec l'autre nourriture[1].

Du reste, dans l'état actuel des connaissances relatives à la nutrition des végétaux, on ne comprendrait pas que la vidange fût absorbée et fixée telle quelle par les plantes.

Arrivons à l'*emploi;* parlons d'abord de celui de la *vidange mêlée à de la terre,* mélange qu'on pourrait appeler *terre animalisée.*

Si, comme il faut l'espérer, la méthode décrite se généralise dans les campagnes, plus de la moitié des vidanges de la France sera traitée ainsi, et on devra s'en féliciter, car c'est le système qui occasionne le moins de pertes de substances fertilisantes; on peut même dire que seul il conserve à l'engrais toute sa richesse.

Le mode d'emploi est le même que pour tous les engrais pulvérulents : après avoir bien émietté la terre animalisée, on la répand soit en même temps que la semence, et on enterre alors le tout par le même trait de herse, soit sur les semailles déjà levées. On la recouvre dans ce cas par un hersage ou par un binage. Comme pour les autres engrais pulvérulents, la première méthode est la plus sûre. L'effet de la seconde dépend essentiellement du temps. Il est nul ou à peu près par la sécheresse, ce qui n'empêche pas qu'on en use, et que cet usage ne se perpétue, parce que, en agriculture surtout, on ne fait pas ce qu'on veut; on fait ce qu'on peut.

La *valeur de cet engrais* dépendra de la nature et de la quantité de la terre ajoutée, ainsi que de la pureté de la vidange. Là où, comme dans les campagnes et les petites villes, on pourra établir une disposition analogue à la mienne, où, par conséquent, on n'ajoutera jamais d'eau, et quand la terre employée sera du reste

1. Mon troupeau m'a fourni un fait plus singulier encore. En octobre 1860, il pâturait dans un pré à côté d'un autre pré, qui 15 jours auparavant avait été vidangé. Dès que berger et chiens s'éloignaient, le troupeau passait immédiatement dans ce dernier, et cela se renouvela si souvent (mon berger était très-distrait), que je fus obligé de changer de pâturage.

de bonne nature, la terre animalisée vaudra au moins son poids de bon fumier. Mais, comme elle agit plus promptement, on devra l'employer en quantités moindres. Avec 50 à 60 hectol. (pesant de 5 à 6 mille kilogr.) par hectare, j'ai obtenu de fort beaux résultats, très-supérieurs, pour la première récolte du moins, à ce qu'aurait produit une fumure de 20 000 kilogr. de fumier ordinaire.

En partant du contenu en azote, M. Boussingault donne le chiffre de 45 (en poids) comme équivalent de 100 de fumier moyen, pour le noir animalisé, lequel, je l'ai déjà dit, était plus riche que ne le seront les terres animalisées qu'on fabriquera chez soi.

Voyons maintenant la *vidange à l'état liquide*, état général aujourd'hui, et qui probablement persistera dans les grandes et moyennes cités. Ce sera sous cette forme que la culture pourra s'en procurer de grandes quantités. Elle a, par conséquent, une importance spéciale.

Disons tout de suite, pour n'y plus revenir, que la petite culture, et en général les cultivateurs qui ne pourraient se procurer que de faibles quantités de vidanges et ne seraient pas outillés pour l'employer à l'état liquide, ne sauraient mieux faire que de la mélanger avec de la terre sèche, comme nous venons de le dire.

Nous publierons plus tard le résultat de nos expériences sur l'engrais liquide; mais nous pouvons ici confirmer ce que nous avions déjà fait pressentir dans nos comptes rendus, et consigner quelques faits qui nous paraissent intéressants au point de vue pratique.

Nous avons déjà dit que nous considérions la vidange *pure* comme équivalant en moyenne au double de son poids de fumier ordinaire. Nous devons ajouter que l'action de la vidange liquide, plus encore que celle du fumier, varie suivant les sols et les plantes.

Nous avons pu constater, par de nombreuses observations, que cet engrais est particulièrement efficace dans les sols légers, sablonneux, dans les terres riches en détritus organiques et dans les terres calcaires; qu'il a beaucoup moins d'effet, et que son emploi exige même de grandes précautions dans les terrains imperméables, froids, argileux et argilo-siliceux, surtout lorsqu'ils

ont le défaut de se *battre par la pluie* (de former croûte après la pluie);

Que les récoltes sur lesquelles il paraît agir le plus favorablement sont : la *betterave*, surtout les variétés riches en azote (globe-jaune, globe-blanche, disette); — les *crucifères* en général (choux, colza, rutabagas, navette, navets);—le *chanvre*, l'*œillette*, toutes les *graminées* (céréales et surtout graminées fourragères), avec cette réserve, cependant, que l'engrais de vidange, appliqué directement à ces plantes, surtout quand elles sont dans un état de végétation avancé (sur le point de monter), paraît favoriser davantage le développement herbacé que la formation des graines;

Qu'il semble avoir beaucoup moins d'action sur les *pommes de terre*, les *topinambours* et les *légumineuses* en général (surtout les haricots, pois, lentilles, fèves);

Enfin, que sur les *prairies permanentes*, son effet dépend essentiellement du sol; favorable toujours au début, cet effet décroît rapidement à chaque nouvelle fumure, dans les prairies en sols argileux.

On a, du reste, l'expérience que cet amoindrissement d'action se fait sentir plus ou moins rapidement dans toutes les terres cultivées ou engazonnées à la suite d'un emploi exclusif et prolongé de la vidange. Sous ce rapport, la vidange agit comme tous les engrais incomplets, comme le tourteau, le sang desséché, le guano même. On y remédie en alternant son emploi avec celui du fumier.

Les faits que j'ai recueillis et que confirme la théorie me permettent de croire qu'on peut y remédier également, et dans certains cas d'une manière plus efficace encore, par l'emploi *d'engrais complémentaires*, c'est-à-dire de l'un ou de l'autre des éléments de fertilité que la vidange ne renferme pas en quantité suffisante, et qui feraient aussi défaut au sol; la chaux par le marnage et le chaulage, les alcalis par les cendres de bois, l'acide phosphorique par les os et les phosphates fossiles, enfin et surtout la matière organique par les *fumures vertes* (récoltes dérobées, enfouies, en vert).

La *vidange liquide est appliquée* soit sur la terre nue, soit sur les plantes en végétation.

L'arrosage sur *terre nue* se fait toujours à l'engrais pur; il est

d'un effet certain, convient à toutes les plantes, et pour les céréales notamment, surtout lorsqu'il a été suivi de quelques façons (labours et hersages); il ne donne pas lieu à cette exubérance de végétation et à cette mollesse des tissus qui amènent la *verse*. En revanche, on en obtient rarement un résultat aussi élevé que celui que donne l'application *directe* quand elle a été effectuée dans de bonnes conditions.

Mais, la vidange *appliquée aux plantes*, pendant leur période végétative, est *toujours* nuisible lorsqu'elle n'est pas additionnée d'une certaine quantité d'eau. Donc, quand cette addition n'a pas lieu naturellement (par l'eau atmosphérique ou l'humidité du sol), on doit l'effectuer artificiellement et dans une proportion d'autant plus forte que l'atmosphère et la terre sont plus sèches, et que les plantes sont plus avancées.

J'ai constaté que, dans ces arrosages sur récoltes, pendant la belle saison, l'effet comparé de deux quantités égales de vidange est sensiblement proportionnel aux racines carrées des volumes des mélanges, de sorte qu'en quadruplant le volume par l'addition d'eau, on double l'effet.

Ce fait est important. Il est de nature à rassurer les amis du sol et de l'agriculture, en donnant la presque certitude que cette dernière pourrait encore utiliser fructueusement les vidanges, lors même que des habitudes plus grandes de propreté et le drainage des villes auraient occasionné une plus forte dilution de l'engrais. Il fait en même temps regretter plus vivement la perte actuelle des parties liquides par le coulage dans les égouts.

J'ai évalué la *fumure moyenne* d'un hectare à 15,5 tonnes de vidange *pure*, ou à 30 tonnes environ de vidange diluée, telle que la livrent aujourd'hui la plupart des grandes villes.

Une dose pareille serait trop forte pour les céréales, surtout pour le blé, à moins qu'on ne l'ait appliquée plusieurs mois avant la semaille.

Il en faudra au plus moitié pour les fumures en *couverture* données pendant l'hiver, et le tiers avec cinq à six fois autant d'eau pour celles données en avril et dans la première quinzaine de mai, terme extrême des arrosages pour les blés.

On peut porter sans inconvénient la dose à 30 mètres de vidange pure pour les prés naturels et le colza, et à 50 (dont la

moitié avant la semaille et le reste additionné d'eau sur la récolte) pour les plantes-racines, les choux, le chanvre, l'œillette.

Pour le raygrass d'Italie, consommé en vert (et probablement aussi pour le sorgho et le maïs fourrage), j'ai constaté qu'on pourrait aller fructueusement jusqu'à 100 mètres de vidange additionnés de 1,600 mètres d'eau en cinq arrosages.

La nécessité d'ajouter de l'eau dans les fumures en couvertures (arrosages sur récoltes), l'avantage d'en ajouter beaucoup, et la probabilité de voir la dilution de la vidange des villes s'accroître d'année en année, donnent un intérêt particulier à la question de *distribution* sur les terres.

Le *tonneau d'arrosage*, qui est le moyen le plus employé tant pour la vidange que pour le purin (engrais liquide du bétail), a l'avantage d'être simple, peu coûteux, et relativement assez expéditif. Quoiqu'on n'ait pas encore une disposition parfaite pour opérer la répartition régulière du jet sur la largeur de la voie (la disposition des tonneaux d'arrosage de Paris n'étant pas applicable à l'engrais liquide parce que les ouvertures du tube-arrosoir s'obstruent rapidement), on est arrivé presque partout à un à-peu-près qui suffit, soit au moyen d'une planchette inclinée, soit par un simple fagot d'épines.

Mais, à côté de ces avantages, il a des inconvénients graves. Il ne porte qu'un faible volume (12 hectol. au plus), et les frais de conduite sont élevés, surtout quand les chemins sont mauvais, de sorte qu'on ne peut l'employer que pour l'engrais pur ou à peu près. Il ne permet dès lors que les arrosages sur terre nue, ou en hiver et dans les premiers jours de printemps, sur les céréales et les herbages.

Dans ces divers cas, surtout dans les derniers, il exige un sol assez sec pour que les roues n'y creusent point d'ornières. Et, comme les céréales ne supportent pas l'arrosage par la gelée, il en résulte que le nombre de jours pendant lequel on peut l'employer directement sur les plantes est fort restreint. A moins d'une terre sablonneuse, d'un temps pluvieux, et d'une distance entre les lignes, calculée de façon que les roues et les chevaux passent dans les intervalles, on ne peut le faire servir à l'arrosage des récoltes sarclées, circonstance d'autant plus fâcheuse que ce sont en général les plantes sur lesquelles la vidange agit le plus favorablement.

Le tonneau est donc un moyen très-imparfait.

Les Flamands, qui depuis longtemps avaient apprécié l'effet remarquable que produit l'engrais liquide sur les plantes en général, et en particulier sur les plantes sarclées pendant la période végétative, ont trouvé le moyen de le répandre sur les récoltes dans les conditions favorables, c'est-à-dire par les temps humides, sans éprouver les inconvénients du tonneau. Ce dernier est amené sur le bord du champ. On en fait couler le contenu dans des tinettes que deux hommes transportent dans la pièce, où un ouvrier exercé le répand assez régulièrement au moyen d'une écope.

Le luxe de main-d'œuvre qu'exige cette méthode indique assez qu'elle ne peut convenir que dans les rares contrées où les bras sont encore nombreux et peu payés.

Reste le *système tubulaire* dont j'ai déjà dit un mot. Ce n'est pas le moment d'en donner une description détaillée. Peut-être le ferai-je plus tard; pour l'instant, je me bornerai à dire que c'est le seul système qui permette une distribution rapide, l'emploi d'engrais très-dilués et l'arrosage sur récoltes en pleine végétation, par les temps humides et dans les terres détrempées, c'est-à-dire dans les conditions où la fumure liquide est le plus propice; que seul il fait circuler l'engrais sous terre et ne l'amène au contact de l'air qu'au moment même de le répandre sur le sol qui le dissimule presque immédiatement à l'odorat et à la vue; enfin, que, donnant la facilité d'arroser pendant presque toute l'année, il permet de se passer de ces grands *réservoirs* qui deviendraient indispensables avec d'autres systèmes, du jour où la culture se serait engagée à utiliser la totalité des vidanges d'une ville. Nous croyons donc que toute grande ferme, placée de manière à pouvoir se procurer facilement de l'engrais de vidange, devrait *canaliser* au moins le dixième de ses terres qui serait consacré exclusivement à la production herbacée et à celle des racines.

Reste la question des frais d'établissement qui, d'avance, effraye beaucoup de monde.

D'après ce qui s'est passé à Vaujours, je crois être certain qu'aujourd'hui, avec l'expérience acquise, on pourrait presque partout établir le système tubulaire pour moins de 600 fr. par

hectare. Il est telle fumure au fumier de bestiaux qui coûte davantage.

Voici, du reste, la preuve que si les dépenses sont élevées, l'emploi n'en est pas moins très-économique. La distribution seule de 1 mètre d'engrais liquide a coûté à Vaujours :

Par la méthode flamande. . . , ...	1f.26c
Par le tonneau	1 .49
Par le système tubulaire et la lance	0 .77

CONCLUSIONS.

Parvenu au terme de ce travail, nous devons résumer et conclure. Nous le ferons dans le moins de mots possible.

Pour arriver à ce que nulle portion des vidanges du pays ne se perde, et à ce que nulle atteinte ne soit portée à la salubrité, nous conseillons : dans les campagnes et les petites villes, le mélange avec de la terre sèche ; dans les grandes villes, le mélange avec une suffisante quantité d'eau et l'écoulement immédiat au moyen d'égouts tubulaires spéciaux conduisant les matières sur les points où la culture pourra le mieux les utiliser. Mais, en attendant que ce grand travail du drainage des villes puisse s'effectuer, nous demandons que partout on supprime le coulage dans les égouts et la perte dans les rivières, comme double préjudice porté à la production agricole et à la santé publique.

Nous sommes convaincu que beaucoup de villes seraient aujourd'hui en mesure d'imiter l'exemple de Lyon, au grand avantage de leurs finances, de la salubrité et de la culture.

Nous croyons que même là où le voisinage ne fournirait pas le nombre de preneurs voulu, les villes trouveraient, d'une part et temporairement, dans la fabrication de la poudrette, d'autre part dans les moyens que nous avons indiqués, bateaux-dépotoirs, wagons-citernes, conduites de refoulement, la possibilité de rendre tout l'engrais humain à la culture.

Nous pensons que quelques améliorations bien simples apportées au régime des fosses contribueraient à faire atteindre ce but.

Tant que le drainage des villes n'existera pas et que l'extraction et le transport se feront par les coûteux moyens actuels, il sera

de l'intérêt des propriétaires, comme de celui de la culture, que la vidange soit la plus pure possible. Nous ne voudrions donc d'autres additions d'eau que celles absolument nécessaires à la propreté des cabinets. Nous ne pensons pas que l'état sanitaire en soit affecté. On sait au contraire que les eaux ménagères, et surtout les eaux de savon ajoutées aux vidanges, sont une grande cause d'insalubrité. D'ailleurs, on a aujourd'hui des agents très-efficaces de désinfection. Il est vrai qu'ils n'agissent que pour un temps assez court, mais ce serait une faible dépense que de désinfecter tous les quinze et même tous les huit jours, surtout si, le coulage étant supprimé, il n'y avait plus d'obstacle à l'emploi du sulfate de fer, préférable au point de vue agricole et beaucoup plus économique que les sels de zinc.

Disons enfin que nous préférons les fosses mobiles aux fosses fixes, et parmi ces dernières, les fosses sur terre aux fosses sous terre; mais que, pourvu qu'elles soient étanches et rationnellement aérées, toutes peuvent remplir les conditions voulues de salubrité, au moyen de désinfections périodiques.

Je devrais, en terminant, faire mes excuses aux lecteurs des *Annales* d'avoir introduit un pareil sujet dans ce recueil. Mais je tiens le public des *Annales* pour un public sérieux, qui, en présence de la grandeur du but, saura faire taire l'impression de dégoût qu'on éprouve malgré soi en abordant ces questions.

Je me féliciterai si cette note peut démontrer une fois de plus l'étroite solidarité qui unit les villes et les campagnes, et contribuer à réhabiliter une matière précieuse que le préjugé repoussait, et que la science et l'expérience signalent comme indispensable à la conservation de la faculté productive de nos terres.

EXPÉRIENCES COMPARATIVES

FAITES

Sur les machines des bateaux l'ÉCLAIR et l'ORNE

PAR M. H. TRESCA.

M. Benjamin Normand fils, du Havre, a pris, à la date du 26 juin 1856, un brevet d'invention pour des perfectionnements dans le traitement et l'emploi de la vapeur appliquée aux machines motrices, et dans les appareils qui en opèrent la condensation.

Dans l'ouvrage qu'il vient de publier sous le titre de l'*Art naval en* 1862, M. le contre-amiral Paris résume l'idée de M. Normand par la citation suivante, empruntée à son brevet :

« Dans les machines de Woolf, où la vapeur exerce une action expansive, dans deux cylindres successifs de volumes croissants, le refroidissement extérieur, qui peut avoir eu lieu dans le premier cylindre, et celui qui résulte de la première portion du travail déjà fourni opèrent la condensation d'une partie de la vapeur. Cette vapeur, ainsi mélangée de parcelles liquides, est d'un emploi désavantageux, auquel ne remédient qu'imparfaitement les enveloppes de vapeur du second cylindre.

« Je propose de faire passer la vapeur, dans son circuit du premier au second cylindre, dans un réservoir, pour séparer toutes les parties condensées. Je propose aussi de dessécher cette vapeur dans un appareil spécial, et même de la surchauffer légèrement pour prévenir toute condensation dans la seconde partie de son travail.

« Pour éviter toute élévation exagérée de température, ce surchauffage serait opéré par des tubes chauffés par de la vapeur à haute pression, soit dans le réservoir de la vapeur, soit dans une capacité spéciale. »

M. Normand applique son système soit aux machines de rivière, soit aux machines de mer, en employant des condenseurs particuliers qui lui permettent, au besoin, de se servir indéfiniment de la même eau. Les condenseurs dont il se sert pour cet objet ne sont pas précisément des condenseurs ordinaires à surface, dans lesquels le refroidissement de la vapeur ne s'opère que par l'action refroidissante d'un courant d'eau froide qui circule au dehors des tubes dans lesquels circule la vapeur.

M. Normand injecte à la manière ordinaire, au milieu de la vapeur d'échappement, de l'eau douce convenablement refroidie, et l'emploi du refroidissement par surface n'est appliqué par lui qu'à l'eau provenant de la condensation même. Ce mode d'action paraît jusqu'ici beaucoup plus pratique que celui des condenseurs à surfaces ordinaires : les parois s'incrustent beaucoup moins, et restent ainsi plus longtemps dans l'état de propreté nécessaire pour être efficaces.

Nous avions assisté précédemment aux premières expériences faites par M. Normand sur le *Furet*, de Paris à Saint-Denis, en 1860.

Voici ce que nous en avions dit dans le *Bulletin de la Société d'encouragement*, tome 59, page 740, à la suite des essais :

« Les deux cylindres de la machine du *Furet* ont été disposés pour fonctionner comme des cylindres de Woolf; seulement, la vapeur, en sortant du petit cylindre et avant d'arriver dans le grand, se rend dans une capacité spéciale où elle est réchauffée par l'intermédiaire de surfaces métalliques, en contact direct avec la vapeur des chaudières. Ce réchauffage, limité ainsi, quant à la température à laquelle la vapeur peut être amenée, suffit pour la sécher, sans que, pour cela, sa pression soit sensiblement augmentée, et elle est alors dans de meilleures conditions pour produire, par sa détente, un nouveau travail dans le grand cylindre.

« La condensation se fait aussi d'une manière toute nouvelle et toujours avec la même eau. A cet effet, cette eau est contenue dans une bache garnie de nombreux tubes, dans lesquels l'eau extérieure circule, par le fait même du déplacement du navire. L'eau de la bache condense la vapeur par injection, sous l'action de la pompe à air, et elle est ensuite ramenée dans cette même bache, mélangée avec la vapeur déjà condensée. De cette ma-

nière, la condensation se fait, comme à l'ordinaire, par injection, et c'est seulement l'eau de condensation qui est refroidie dans la bache que nous avons indiquée, et que l'on peut considérer comme un condenseur à surface.

« Ces dispositions fonctionnent parfaitement, et, dans le double trajet de Paris à Asnières et retour, la machine n'a pas consommé plus de 100 kilogrammes de combustible, soit 2 kilogr. par cheval.

Cette évaluation était déjà approximative, mais elle n'était pas encore basée sur des résultats assez certains. La puissance de la machine était estimée à 25 chevaux.

M. Normand n'avait pu faire jusqu'ici aucun essai sur l'ensemble de son système : on sait combien il est difficile d'introduire des idées nouvelles, surtout dans la construction des machines de bateaux, qui doivent avant tout satisfaire à l'impérieuse condition d'une marche régulière et sûre. Aussi M. Normand a-t-il voulu profiter d'une installation partielle de sa disposition principale pour établir, par des expériences comparatives, quelques-uns des avantages qui en sont la conséquence.

Il a, en conséquence, engagé un grand nombre de savants et d'ingénieurs, parmi lesquels nous nous bornerons à citer M. le général Morin, M. Combes, M. l'amiral Paris et M. Moll, ingénieur des constructions navales, à faire successivement sur les deux bateaux l'*Orne* et l'*Éclair* le trajet du Havre à Rouen et celui de Rouen au Havre. Nous avons été chargé de faire, pendant ce double trajet, toutes les constatations qui peuvent servir à la rédaction d'un procès-verbal régulier, et M. Lecœuvre, professeur à l'École centrale des arts et manufactures, a bien voulu les diriger sur l'un des bateaux pendant que nous étions sur l'autre.

De cette manière, nous avons pu recueillir un grand nombre de données qu'il nous a paru utile de faire connaître, dans la même forme que nos procès-verbaux habituels du Conservatoire.

Le bateau *l'Éclair*, transformé par M. Normand, n'était pas pourvu du condenseur particulier dont nous avons indiqué la disposition sur le *Furet*. Les résultats obtenus indiqueront l'influence du surchauffage intermédiaire de la vapeur entre les deux cylindres.

Depuis le brevet de M. Normand, cette idée a été appliquée en France et en Angleterre, ainsi que nous l'avons indiqué précédemment dans notre compte rendu des machines à vapeur de l'Exposition universelle de Londres en 1862.

EXPÉRIENCES FAITES SUR L'ORNE.

L'*Orne* fait habituellement le service du Havre à Caen.

La coque a été construite par M. Normand père, et ses dimensions principales sont les suivantes :

Longueur du dehors de l'étrave au dehors de l'étambot, à la flottaison.	42m.00
Largeur extrême, hors bordé.	5 .83
Profondeur de carène de sous-gabord (pas de quille saillante)	1 .45
Volume de la carène hors bordages.	184mc.00
Surface de la partie immergée du maître couple.	7mq.64
Les roues ont une largeur de..	1m.80
Le rayon moyen des palettes est de..	1 .68
La largeur des palettes a.	0 .75
La distance de l'axe à la ligne de flottaison. . .	1 .18

La machine et les chaudières ont été construites dans les ateliers de MM. John Penn et fils. Les deux cylindres sont oscillants et admettent, sous une pression de deux atmosphères, la vapeur jusqu'aux deux tiers de la course des pistons.

Les deux cylindres sont absolument semblables, et voici l'indication des dimensions principales de la machine :

Diamètre des cylindres (35 pouces anglais). . .	0m.89
Diamètre des tiges de piston.	0 .10
Courses des pistons (36 pouces anglais). . . .	0 .914
Diamètre du cylindre de la pompe à air. . . .	0 .661
Course du piston de la pompe à air..	0 .457
Surfaces des pistons moteurs (chambres supérieures)..	0mq.61426
Surface des pistons moteurs (chambres inférieures)	0 .6221
Volumes des chambres supérieures..	0mc.561434
Volumes des chambres inférieures.	0 .568599

Deux voyages ont été faits avec ce bateau le 1er juillet 1863; l'un du Havre à Rouen, à la remonte; l'autre de Rouen au Havre, à la descente. Il a été dans les deux cas chauffé avec un mélange, en parties égales, de houilles de Newcastle et de Cardiff. Descendu, par lots fractionnés, dans la chambre des chaudières, le combustible a été rigoureusement pesé, et l'on a même noté avec soin le moment de la mise en consommation de chaque pesée. On a ainsi constaté que la consommation avait été très-régulière, ainsi qu'on peut en juger par les tableaux suivants, dans lesquels nous avons reproduit toutes les notes relevées pendant la marche du navire.

Voyage de l'Orne à la remonte. — Dans cette première expérience, la consommation n'a été comptée qu'à partir d'un arrêt, qui a eu lieu à quelque distance du point de départ, pour remettre en état les transmissions des indicateurs, qui avaient été dérangée.

Tableau des observations faites sur l'Orne à la remonte (1er juillet 1863).

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE de tours au compteur.	NOMBRE de tours par minute.	PRESSIONS au générateur en livres par pouce anglais.	Vide au condenseur en cent. de merc.	TEMPÉRATURE en amont des tiroirs.	TEMPÉRATURE de l'eau de condensation.	NUMÉROS des diagrammes. tribord.	NUMÉROS des diagrammes. bâbord.
8h.20m	250k	1533	39.5	14.0	......	......	......	1. i.	
8 .30	....	1964	40	13.5	......	......	......	2. s.	
8 .42	250	......	......	....	57	119	......	......	
8 .45	....	2584	......	12.0	......	119	......	......	
8 .49	....	......	42	13.4	......	......	......	3. i.	
9 . 0	....	3227	......	12.7	57	......	......	......	
9 . 5	500	......	......	....	......	......	45	......	
9 . 8	....	......	40	12.5	......	......	......	4. i.	
9 .15	....	3762	......	12.3	......	......	......	......	
9 .17	....	......	......	....	......	118	......	......	
9 .20	....	......	......	....	56	......	46	......	
9 .25	....	......	40	14.2	......	......	......	5. i.	
9 .30	....	4372	......	14.4	53	......	......	......	
9 .38	....	......	......	13.8	......	......	......	6. i.	
9 .45	....	4972	......	14.8	......	......	......	......	
9 .55	500	......	......	....	......	......	......	......	
10 . 0	....	5552	......	13.5	......	......	......	......	
10 . 3	....	......	38	....	......	......	......	7. s.	
10 . 5	....	......	......	....	52	......	47	......	
10 . 7	....	......	......	....	......	119	......	......	
10 .15	....	6126	......	13.3	52	......	......	......	

Suite du Tableau.

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation. Départ.	NOMBRE de tours au compteur.	NOMBRE de tours par minute.	PRESSIONS au générateur en livres par pouce anglais.	Vide au condenseur en cent. de merc.	TEMPÉRATURE en amont des tiroirs.	TEMPÉRATURE de l'eau de condensation.	NUMÉROS des diagrammes.	
								tribord.	bâbord.
10h.28m				13.2				8. s.	
10 .29				13.2					9
10 .30		6724		13.2					
10 .34			38	13.3				10. i.	
10 .43				13.3					11
10 .44					52		51		
10 .45		7312		13.8					
10 .47	500		39			119			
10 .55			39	14.0				12. s.	13
11 . 0		7833		13.8					
11 . 5					52				
11 .15		8426		11.3					
11 .30		8942		7.0					
11 .32			34	7.1	55				
11 .35	500								
11 .37				9.2	54				
11 .45		9582		11.6					
11 .52				11.8				14. s.	
11 .55			38	11.3				15. s.	
11 .58				11.7				16. i.	
12 . 0		10132		10.4					
12 . 2					53		46		
12 . 3						118			
12 .12				10.3	53				
12 .14			36	10.3				17. s.	
12 .15		10630		12.0					
12 .22				13.5				18. s.	
12 .27	250								
12 .30		11195							
12 .31				11.0	53		48		
12 .34			37					19. s.	
12 .35			37	10.5				20. i.	
12 .36						119			
12 .45		11720		10.2	53				
12 .57			37	11.3				21. i.	
1 . 0		12284	38	12.0				22. i.	
1 . 2		12405							
4h.42m	2750	10872	35.8	12.2	53.71	118.7	47	19 courbes.	3 courbes.

L'expérience a duré 4^h 42′, ou, en nombre décimal, 4^h 70.

La quantité de charbon livrée à la machine s'est élevée à 2750 kilogrammes; mais il faut déduire de ce chiffre un reliquat de 138 kilog., qui porte la consommation réelle à 2612 kilog., et la consommation par heure à 2612 : 4.7 = 555.74.

Le nombre total des tours de l'arbre moteur s'est élevé à 10 872, ce qui porte le nombre des tours par minute à

$$\frac{10\,872}{4.7 \times 60} = \frac{10\,872}{28.2} = 38^{t}.553.$$

Les observations partielles ont toujours indiqué des vitesses comprises entre 34 et 40 tours.

En partant de ce nombre de 38.553 tours par minute, on voit que la vitesse moyenne des pistons par seconde est de

$$2 \times 0.914 \times \frac{38.553}{60} = 1^{m}.174.$$

La pression moyenne de 12^{l}2 par pouce carré équivaut à 1.83 atmosphère.

Le vide moyen au condenseur est de 537.1 millimètres de mercure, qui correspondent à une contre-pression moyenne de $0^{at}.30$. C'est là un mauvais vide, assez analogue d'ailleurs à celui de la plupart des machines oscillantes de Penn; cette circonstance s'explique facilement par la température moyenne de l'eau de condensation qui est ici de 47°.

La température moyenne de la vapeur, avant son arrivée au tiroir, est de 118°.7; c'est précisément celle qui correspond, d'après les tables de M. Régnault, à une pression de 1.84 atmosphère.

Plusieurs indicateurs de pression avaient été disposés pour tracer des diagrammes, pendant la marche du navire. On a pu obtenir ainsi, sans aucun arrêt pendant le voyage, 19 diagrammes sur les deux chambres du cylindre de tribord, et 3 courbes seulement sur le cylindre de bâbord.

Pour les 19 diagrammes de tribord, le piston de l'indicateur avait une surface de $0^{mc}.000\,170\,87$, et le ressort de cet instrument fléchissait de 38.83 millimètres par atmosphère.

Les diagrammes indiquent une excellente admission, avec une avance convenable, et une détente commençant à environ 0.60 de la course; l'avance à l'échappement est moins satisfaisante, la ligne inférieure du diagramme allant constamment en s'abaissant jusqu'à l'extrémité de la courbe.

Afin de montrer le degré de confiance que méritent les tracés, nous avons comparé, dans le tableau ci-joint, les pressions ob-

servées directement sur les manomètres et celles qui correspondent, d'après les diagrammes, au commencement de l'admission et à la fin de l'échappement.

Tableau des pressions estimées par la lecture des manomètres et par les ordonnées des diagrammes à l'admission et à l'échappement.

HEURES des observations.	NUMÉROS des diagrammes.	PRESSIONS au manomètre en livres par p. c.	ORDONNÉES à l'admission.	PRESSIONS calculées correspondantes.	VIDE au manomètre en cent. de mercure.	ORDONNÉES à l'échappement.	VIDE calculé correspondant.
h '			mill.	at.		mill.	at.
8.20	1	14.0	33	1.88		28	0.72
8.30	2	13.5	32	1.82	57	29	0.75
8.49	3	13.4	30	1.78	57	29	0.75
9.8	4	12.5	27	1.72	56	29	0.75
9.25	5	14.2	29	1.75	56	28	0.72
9.38	6	13.8	29	1.75	53	28	0.72
10.3	7	13.4	31	1.80	53	24	0.62
10.28	8	13.2	27	1.72	52	27.	0.69
10.34	10	13.3	30	1.78	52	25	0.64
10.43	12	14.0	29	1.75	52	28	0.72
11.52	14	11.8	23	1.59	53	28	0.72
11.55	15	11.3	25	1.65	53	24	0.62
11.58	16	11.7	24	1.62	53	26	0.67
12.14	17	10.3	24	1.62	53	27	0.69
12.22	18	13.5	31	1.80	53	25	0.64
12.34	19	10.8	26	1.68	53	27	0.69
12.35	20	10.5	24	1.62	53	24	0.62
12.57	21	11.3	26	1.68	53	27	0.69
1.0	22	12.0	25	1.65	53	25	0.64
		12.55		1.71	53.42		0.68

On remarquera d'abord que la pression moyenne de 12.55 livres par pouce carré, observée au moment de la prise des diagrammes, est un peu plus élevée que la pression moyenne pendant la durée totale de l'expérience.

Cette pression de 12.55 livres correspond à 1.853 atmosphère, et nous voyons qu'en la déduisant des ordonnées des diagrammes on arriverait à 1.71 atmosphère. La pression à l'indicateur est ainsi réduite, par rapport à celle qui est lue sur le manomètre, dans le rapport de

$$1.71 : 1.853 = 0.92$$

On ne peut désirer une vérification plus satisfaisante. Quant à

ce qui concerne le vide au condenseur, les diagrammes ont fourni une moyenne de 0.68 atmosphère, et les lectures ont donné directement 53.42 centimètres de mercure, ou 53.42 : 76 = 0.70 atmosphère : la concordance est encore plus complète.

Dans le relevé des courbes, nous avons séparé, à cause de la différence des surfaces utiles des pistons, les diagrammes de la chambre supérieure de ceux de la chambre inférieure, et nous avons déterminé, au planimètre, l'ordonnée moyenne de chacun d'eux.

Relevés des diagrammes de la chambre inférieure.

NUMÉROS des COURBES.	ORDONNÉES moyennes DES DIAGRAMMES.	TRAVAIL developpé CORRESPONDANT.
	mill.	km.
1	50.41	7625.1880
2	50.90	7699.3071
3	47.89	7244.0042
5	46.11	6974.7554
7	45.03	6811.3909
10	45.15	6829.5425
16	40.70	6156.4204
18	45.72	6915.7626
20	39.51	5976.4169
22	42.28	6395.4166
	45.37	6863.04046

Il nous suffira d'indiquer le calcul pour la moyenne générale des ordonnées.

Puisqu'une flexion de 38.83 millimètres correspond à 1 atmosmosphère, 45.37 millimètres correspondent à une pression moyenne effective de

$$\frac{45.37}{38.83} = 1.168 \text{ atmosphère.}$$

Le volume total développé par cette pression moyenne, sur le piston, est $0^{mc}.568599$, et le travail fourni à chaque coup de piston

a pour mesure $10330 \times 1.168 \times 0.568599 = 6860{,}3971$ kilogrammètres.

Les chiffres fournis par les diagrammes pris sur la chambre supérieure sont les suivants :

Relevés des diagrammes de la chambre supérieure.

NUMÉROS des COURBES.	ORDONNÉES moyennes DES DIAGRAMMES.	TRAVAIL développé CORRESPONDANT.
	mill.	km.
4	42.38	6329.7581
6	44.21	6603.0818
8	43.03	6426.8403
12	45.12	6738.9969
14	40.44	6040.0052
15	41.84	6249.1052
17	39.26	5863.7637
19	38.04	5681.5479
21	41.17	6149.0359
	41.721	6230.34884

L'ordonnée moyenne de ces diagrammes est moins élevée que la précédente, et cette circonstance tient principalement à ce qu'ils ont été pris à des pressions un peu inférieures. Quant au travail moyen par coup de piston, il est notablement plus petit, par suite du volume occupé par la tige du piston dans la chambre supérieure.

Dans les machines oscillantes, l'installation de la transmission au papier de l'indicateur est plus difficile que dans les machines à cylindres fixes. Celle du cylindre de bâbord s'étant rompue, on aurait été privé de tout diagramme sur ce cylindre, si l'on n'avait profité de l'oscillation même, pour opérer le déplacement du tambour sur lequel le papier de l'indicateur était enroulé, en attachant le fil de transmission à un point fixe. Le papier se déroulait alors suivant une autre loi que celle du mouvement du piston, et l'on a pu, au moyen d'une épure, reconstruire, avec cette courbe modifiée, la courbe que l'on aurait réellement obtenue si l'indicateur avait été installé dans les conditions normales.

Les tracés ainsi modifiés ont présenté identiquement la même disposition que ceux du cylindre de tribord; mais les ordonnées moyennes sont notablement moindres, parce que la flexion du ressort de l'indicateur employé sur ce cylindre ne fléchissait que 33.30 millimètres par atmosphère.

En introduisant cet élément dans les calculs, on est conduit au tableau suivant :

Relevés des diagrammes du cylindre de bâbord.

NUMÉROS des diagrammes.	PRESSIONS au manomètre.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	TRAVAIL développé correspondant.
	liv.	mill.	km.
9	13.2	33.91	6390.2073
11	13.3	34.18	6339.7288
13	14.0	33.12	6192.0324
	13.5	33.74	6307.3229

Ces quantités de travail sont très-peu différentes des précédentes; elles sont d'ailleurs en petit nombre; c'est pour cela que nous en ferons abstraction dans les calculs, et, nous reportant aux seuls diagrammes de tribord, nous estimerons le travail moyen développé par coup de piston :

Dans chacune des chambres inférieures, à. .	6863^{km}.04046
Dans chacune des chambres supérieures, à. .	6230 .34884
Ensemble pour un tour	13 093^{km}.38930

Les deux cylindres réunis fourniraient, d'après cette évaluation, le double, ou 26 186.7787 kilogrammètres par tour, et à raison de 38,553 tours par 1', un travail, par 1'', de

$$\frac{38,553 \times 26186,7787}{60} = 16\,826,31 \text{ kilogrammètres.}$$

Pour connaître le travail en chevaux de 75 kilogrammètres

par 1" développés sur le piston, il faut diviser par ce dernier nombre, et l'on trouve :

$$\frac{16826.31}{75} = 224.35 \text{ chevaux.}$$

En rapprochant ce chiffre de celui de la consommation, on trouve enfin que la consommation par heure et par cheval, développé sur le piston, est donnée par le rapport

$$\frac{555.74}{224.35} = 2^{k}.477.$$

Voyage de l'Orne à la remonte. — Sans entrer dans les mêmes détails que précédemment, il nous suffira de reproduire, dans le même ordre, les divers éléments qui conduisent à l'appréciation du travail et à celle de la consommation.

Tableau des observations faites sur l'Orne à la descente (1er *juillet* 1863).

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE de tours au compteur.	NOMBRE de tours par minute.	PRESSIONS au générateur en livres par pouce anglais.	VIDE au condenseur en centimètres de mercure.	TEMPÉRATURE en amont des tiroirs.	TEMPÉRATURE de l'eau de condensation.	NUMÉROS des diagrammes. Tribord.
3h.45m	Départ.							1
3 .54	500	12824		8.8	56	113		2.3
4 .0		13019		5.1	57		43	
4 .15		13567		12.5	55	119		4.5
4 .25	200							
4 .30		14153		12.0	54	119		
4 .45	200	14733		13.0	53	120	48	
5 .0		15342		11.0	53			
5 .6	200							
5 .15		15937		11.0	54			
5 .21	200							
5 .30		16500		14.0	53			
5 .45		17103		14.9	52			
5 .50	200							
6 .0		17693		12.5	54	120		
6 .14	200							
6 .15		18277		13.0	54			
6 .24			40					
6 .30		18856		11.0	54			
6 .35	200							
6 .45		19457		10.5	53		41	
6 .50			38					
7 .0	200	20060		13.0	52			
7 .8			41	9.8		119	41	6.7
7 .15		20536		11.0	52			8.9
7 .25	200							
7 .30		21073		12.0	52			
7 .45		21663		13.0	52	119	44	10.11
7 .53	200							
8 .0		22270		12.5	52			12.13
8 .15		22841		12.0	53			14.15
8 .16	200							
8 .30		23416		10.0	54			16.17
8 .45		23980		11.5	54			
8 .46	200							18.19
9 .0		24457		13.0	54			20.21
9 .5	100							
9 .15		25154		14.0	53			
9 .20	ralentissement à l'arrivée							22.23
9 .25		25546		feu et mercure très-bas				
6 .31	3000	12622		11.71	53.48	118.4		23 courbes.

L'expérience a duré 5^h 40′, ou 5 heures 2/3. Le trajet de retour s'est fait beaucoup plus lentement que le premier voyage, pendant lequel la pression s'est maintenue généralement plus élevée.

La quantité de charbon livrée à la consommation s'est élevée à 3000 kilogrammes; mais il faut en déduire un reliquat de 50 kilogrammes, et la consommation par heure est alors 2950 : $5.\frac{2}{3}$ = $520^{k}.557$. Le nombre total des tours de l'arbre moteur s'est élevé à 12622 en 5 heures 2/3, ou, par minute, à

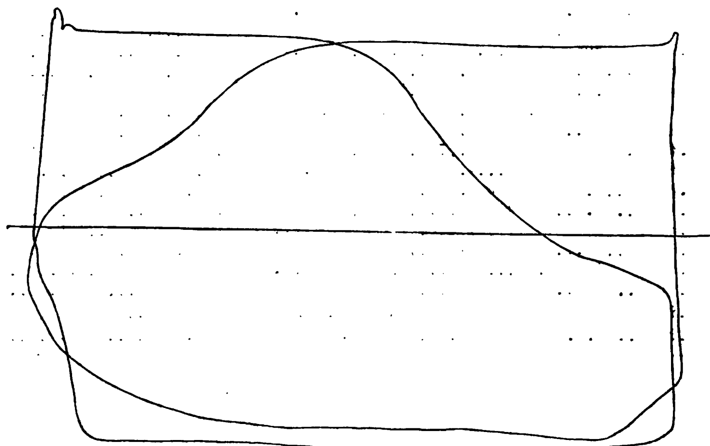
$$\frac{12622}{5.\frac{2}{3} \times 60} = 37.12.$$

La pression moyenne de 11,71 livres anglaises par pouce carré équivaut à 1.80 atmosphère. Le vide moyen au condenseur est de 534.8 millimètres de mercure; il n'a pas été meilleur que dans l'expérience à la remonte.

La température moyenne de la vapeur est restée à peu près la même, ainsi que la température de l'eau condensée.

La pression de 11.6 livres par pouce carré, telle qu'elle est indiquée par le manomètre, équivaut à 1.789 atmosphère; l'ordonnée d'admission représente 0.90 de cette pression, et l'on trouve encore que les deux évaluations du vide sont absolument identiques.

Nous pouvons donc avoir pleine confiance dans les diagrammes, et les résultats auxquels ils conduisent sont insérés en détail dans les tableaux suivants :



Nous avons reproduit dans la figure ci-jointe les calques des deux diagrammes indiqués dans le tableau précédent sous les

numéros 14 et 15; tous les autres diagrammes affectent la même forme générale et diffèrent assez peu de ces deux reproductions.

Tableau des pressions estimées par la lecture des manomètres et par les ordonnées des diagrammes à l'admission et à l'échappement.

HEURES des observations.	NUMÉROS des diagrammes.	PRESSIONS au manomètre en livres par p. c.	ORDONNÉES à l'admission.	PRESSIONS calculées correspondantes.	VIDE au manomètre en centième de mercure.	ORDONNÉES à l'échappement.	VIDE calculé correspondant.
		l.	mill.	at.		mill.	at.
3.45	1	8.8	16	1.41		30	0.79
3.54	2	8.8	14	1.36	56	28	0.72
3.54	3	8.8	16	1.41	56	29	0.75
4.15	4	12.5	26	1.66	54	25	0.64
4.15	5	12.5	28	1.78	54	28	0.72
7.8	6	9.8	18	1.46	52	27	0.69
7.8	7	9.8	20	1.52	52	29	0.75
7.15	8	11.0	22	1.56	52	25	0.64
7.15	9	11.0	22	1.56	52	27	0.69
7.45	10	13.0	27	1.69	52	25	0.64
7.45	11	13.0	28	1.72	52	26	0.67
8.0	12	12.5	28	1.72	52.5	24	0.62
8.0	13	12.5	29	1.75	52.5	27	0.69
8.15	14	12.0	27	1.69	53	27	0.69
8.15	15	12.0	27	1.69	53	28	0.72
8.30	16	10.0	19	1.49	54	27	0.69
8.30	17	10.0	23	1.53	54	28	0.72
8.46	18	12.0	26	1.66		28	0.72
8.46	19	12.0	27	1.69		29	0.75
9.0	20	13.0	29	1.75	54	27	0.69
9.0	21	13.0	29	1.75	54	29	0.75
9.20	22	14.0	24	1.61		28	0.71
9.20	23	14.0	26	1.61		28	0.72
		11.6		1.61	53	27.4	0.708

La similitude de toutes ces conditions devait sans doute nous conduire à des évaluations très-rapprochées des précédentes quant à la mesure du travail développé sur le piston.

On n'a relevé aucun diagramme sur le cylindre de bâbord, mais celles de tribord sont au nombre de 23, et elles nous conduisent à une vérification tout aussi satisfaisante en ce qui concerne les comparaisons entre les pressions estimées, soit d'après les manomètres, soit d'après les ordonnées correspondantes des diagrammes.

Relevés des diagrammes de la chambre supérieure.

NUMÉROS des COURBES.	ORDONNÉES moyennes DES DIAGRAMMES.	TRAVAIL développé CORRESPONDANT.
	mill.	km.
1	36.25	5414.1985
2	33.70	5596.7458
4	43.31	6468.6603
6	32.93	4918.3326
8	39.11	5841.3601
10	40.35	6027.3098
12	42.63	6367.0974
14	41.79	6624.0444
16	37.07	5536.6704
18	44.01	6573.2104
20	43.62	6515.7079
22	Tracé incomplet.	»
	39.52	5989.3990

Relevés des diagrammes de la chambre inférieure.

NUMÉROS des COURBES.	ORDONNÉES moyennes DES DIAGRAMMES.	TRAVAIL développé CORRESPONDANT.
	mill.	km.
3	37.00	5596.7458
5	43.80	6625.3369
7	41.89	6336.4238
9	40.53	6130.7056
11	44.91	6793.2393
13	41.84	6328.8607
15	44.50	6731.2213
17	41.61	6294.0701
19	43.70	6610.9669
21	45.91	6914.2500
23	Tracé incomplet.	»
	42.57	6436.5820

L'ordonnée moyenne est encore un peu plus faible dans la

chambre supérieure, et le travail moyen développé par coup de piston, dans chacune des chambres, peut maintenant être estimée :

Pour la chambre inférieure, à..........	$6436^{km}.5820$
Pour la chambre supérieure, à.........	5989 .3990
Ensemble, pour un tour.......	$12425^{km}.9810$

Les deux cylindres réunis doivent fournir le double de ce travail, ou 25851.9620 kilogrammètres par tour, et à raison de 37.12 tours par 1', le travail développé par seconde sera donné par la relation

$$\frac{37.12 \times 24851,9620}{60} = 15375.08 \text{ kilogrammètres.}$$

En divisant par 75 pour avoir le travail développé en chevaux, on trouve 205 chevaux, qui correspondent à une consommation par cheval et par heure de

$$\frac{520.557}{205} = 2^{k}.503.$$

La moyenne des consommations par cheval, pour les deux voyages, est alors de

$$\frac{2.477 \times 2.503}{2} = 2^{k}.490.$$

EXPÉRIENCES FAITES SUR L'ÉCLAIR.

L'*Éclair* appartient à la même compagnie que l'*Orne*, qu'elle considère comme un de ses meilleurs bateaux, et c'est pour cette raison que M. Normand a désiré faire la comparaison avec ce bâtiment.

La coque de l'*Éclair* a été, comme celle de l'*Orne*, construite par M. Normand père, et ses dimensions principales sont les suivantes :

Longueur du dehors de l'étrave au dehors de l'étambot, à la flottaison	40m.36
Largeur extrême hors bords	5 .23
Profondeur de carène de sous-gabord	1 .55
Volume de la carène hors bordages	153mc.00
Surface de la partie immergée du maître couple	7mq.00
Largeur des roues	2m.12
Rayon moyen des palettes	1 .60
Largeur des palettes	0 .62
Distance de l'axe à la ligne de flottaison, au moment des expériences	1 .00

La machine et les chaudières primitives ont été construites dans les ateliers de MM. Ravenhill et Salkeld, pour fonctionner à une pression de 2.50 atmosphères environ.

Les cylindres étaient oscillants, et il résulte de diagrammes pris, avant tout changement dans l'appareil moteur, qu'ils fonctionnaient tous deux dans les mêmes conditions, avec admission à moitié.

Comme dans toutes les machines du même constructeur, le vide était beaucoup moins bon que dans la plupart de nos machines françaises, la contre-pression étant habituellement d'un tiers d'atmosphère environ.

M. Normand a fait subir à la machine de notables modifications, et il a remplacé le générateur par une chaudière tubulaire pouvant fonctionner à une pression de 6 atmosphères.

Quant à la machine, il a remplacé l'un des cylindres par un cylindre plus petit et à enveloppe de vapeur, destiné à recevoir, jusqu'à demi-course du piston, la vapeur venant directement de la chaudière. A la sortie de ce cylindre, la vapeur passe dans un faisceau tubulaire, et s'y réchauffe aux dépens d'un courant direct de vapeur qui enveloppe les tubes, et dont la condensation retourne à la chaudière.

Avant d'arriver dans le second cylindre, qui fonctionne comme le grand cylindre d'une machine ordinaire de Woolf, la vapeur, qui a déjà travaillé dans le premier cylindre, se trouve un peu

réchauffée, et, par suite de la forme des conduits dans lesquels elle circule, elle est en grande partie débarrassée de l'eau qu'elle entraînait à sa sortie du générateur, et de celle dont la condensation avait été déterminée par sa détente lors de sa première action.

La vapeur arrive ainsi dans le second cylindre dans les meilleures conditions, et elle produit alors un supplément de travail considérable. Toute la capacité des conduits intermédiaires et du réchauffeur forme, dans ces conditions, par la vapeur chaude qu'elle renferme, une sorte de ressort dont l'influence peut s'exercer sur l'échappement du premier cylindre.

C'est au moyen de cette capacité intermédiaire, toujours remplie de vapeur, que M. Normand a pu faire fonctionner, comme machine de Woolf, ces deux pistons, dont les manivelles, comme celles de la machine primitive, sont calées à angle droit. Si ce réservoir n'existait point, il faudrait que le grand cylindre fût ouvert à l'admission au moment même où le petit cylindre est dans sa période d'échappement; c'est-à-dire qu'il faudrait nécessairement que les deux manivelles fussent calées à 180°. La condition équivalente est remplie par le balancier ordinaire des machines de Woolf, au moyen de l'alternance qui met en relation la chambre supérieure du petit cylindre avec la chambre inférieure du grand.

Les dimensions des machines ainsi modifiées sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre.	0m.596
Course du piston.	0 .914
Diamètre de la tige du piston.	0 .106
Diamètre du grand cylindre.	0 .876
Course du piston..	0 .914
Diamètre de la tige de piston.	0 .106
Diamètre du cylindre de la pompe à air..	0 .610
Course du piston de la pompe à air..	0 .457
Surface du petit piston (chambre supérieure).. .	0mq..271150
Surface du petit piston (chambre inférieure). . .	0 .278972
Surface du grand piston (chambre supérieure). .	0 .59663
Surface du grand piston (chambre inférieure).. .	0 .60545
Volume de la chambre supérieure du petit cylindre.	0mc.247831

Volume de la chambre inférieure du petit cylindre.	$0^{mc}.25498$
Volume de la chambre supérieure du grand cylindre.	0 .54532
Volume de la chambre inférieure du grand cylindre.	0 .55338

Le générateur comprend deux foyers et deux faisceaux tubulaires composés chacun de 131 tubes de 56 millimètres de diamètre intérieur; la surface totale de chauffe s'élève à $94^{mq}.40$.

Le faisceau tubulaire du réchauffeur se compose de 55 tubes de cinq centimètres de diamètre, et d'une longueur de $2^{m}.52$. Ces tubes sont contenus dans un cylindre horizontal de $0^{m}.538$ de diamètre, qui est mis en communication avec la chambre de vapeur de la chaudière, et cette vapeur agit sur celle des tubes par une surface de chauffe totale de $21^{mq}.80$ environ.

En partant de ce réchauffeur, la vapeur qui se rend dans le grand cylindre circule dans un large conduit d'un diamètre de $0^{m}.195$.

Dans les expériences du 1er juillet 1853, afin de connaître l'influence du réchauffeur, on a placé des thermomètres supplémentaires, l'un à la sortie du petit cylindre, l'autre avant l'introduction dans le grand.

VOYAGE DE L'*ÉCLAIR* A LA REMONTE.

Tableau des observations faites sur l'Éclair à la remonte (1er *juillet* 1863).

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE de tours au compteur.	PRESSIONS OBSERVÉES aux chaudières. Tribord.	Bâbord.	au réservoir intermédiaire.	VIDE au condenseur en cent. de mercure.	TEMPÉRATURES à la sortie du petit cylindre.	à l'entrée du grand cylindre.	NUMÉROS des diagrammes du grand cylindre.
h. m.	kil.	t.	at.	at.	l.	c.			
8.0	....	222	5.61	5.50	13	70	....	....	
8.2	400	....	5.55	5.45	....	70	....	....	
8.15	....	1026	....	....	....	....	....	....	1.2
8.17	....	....	....	....	....	....	116°	129°	
8.30	....	1699	6.00	5.80	15	68	119	131	3.4
8.45	....	2466	6.05	6.00	14	68	118	131	5.6
8.53	200	....	....	....	....	....	118	131	
9.0	....	3214	5.80	5.75	13	68	....	....	7
9.15	....	3940	6.10	6.00	....	69	119	131	8
9.18	....	....	....	....	....	....	....	....	9.10
9.22	....	....	....	....	....	....	....	....	
9.30	....	4686	6.00	5.80	14	68	120	133	
9.35	200	....	....	....	....	....	....	....	
9.45	....	5422	5.40	5.30	11	68	117	131	12.13
10.0	....	....	5.50	5.40	11	68	117	130	14.15
10.3	200	....	....	....	....	....	119	132	
10.15	....	6372	6.05	5.60	14	68	....	....	16.17
10.28	200	....	....	....	....	....	....	....	
10.30	....	7610	6.10	5.60	14	68	....	....	
10.45	....	8376	6.00	5.45	13	68	119	131	
10.48	....	....	....	....	....	....	....	....	
10.58	200	....	....	....	....	....	....	....	
11.0	....	9055	5.20	5.00	10	68	110	129	
11.11	arrêt de 2'.	....	....	....	....	....	....	....	
11.15	....	9610	....	....	....	....	110	120	
11.26	200	....	....	....	....	....	....	....	
11.30	....	10267	5.90	5.80	14	68	118	133	
11.45	....	11055	5.80	5.60	13	68	118	134	
11.52	200	....	....	....	....	....	....	....	
12.0	....	11778	5.70	5.50	13	68	118	133	
12.3	....	....	....	....	....	....	....	....	
12.5	....	....	....	....	....	....	....	....	
12.13	....	....	....	....	....	....	....	....	
12.15	200	12590	5.55	5.50	11	68	118	135	
12.30	....	13140	....	....	....	....	122	129	
12.35	....	....	4.25	4.00	13	60	120	124	
12.36	....	13360	....	....	....	....	....	....	
12.38	....	13450	....	....	....	....	....	....	
4.36	2000	13228	5.71	5.50	12.87	67.50	117.55	130.22	16 courbes.

L'expérience a duré 4h 36', en déduisant le temps employé à

prendre à bord quelques visiteurs venus de Rouen; en nombre décimal, 4^h 60.

La quantité de charbon livrée à la machine s'est élevée à 2 000 kil., dont il faut déduire un reste de 132 kil. La consommation a donc été de 1 868 kil., et, répartie sur 4.60 heures, elle conduit à une consommation par heure de 460.87 kilogr.

Le nombre total des tours de la machine est de 13 228 en 276 minutes, soit en moyenne, par minute, 47.94 tours; la vitesse du bateau a été notablement plus grande que celle de l'*Orne*. En partant de ce chiffre, la vitesse moyenne des pistons par seconde est donnée par la relation

$$2 \times 0.914 \times \frac{47.94}{60} = 1^m46.$$

Cette vitesse a pu être supportée par la machine sans aucun inconvénient; c'est du reste sa vitesse ordinaire de service.

La chaudière de bâbord a toujours indiqué une pression inférieur à celle du générateur de tribord; mais les différences sont assez faibles pour que la moyenne de 5.60 atmosphères soit prise, pour bien caractériser les conditions dans lesquelles l'expérience a été faite.

Le vide indiqué au condenseur a été très-bon pendant tout le voyage; la moyenne, de 67.5 centimètres de mercure ou de 0.89 atmosphère, est due sans doute en partie à ce que le volume de vapeur dépensé à chaque tour se trouve, au moyen des modifications de M. Normand, diminué dans un assez grand rapport.

La pression a peu varié dans le réservoir intermédiaire du réchauffeur. Les 12.87 livres par pouce carré, qui résultent du calcul de la moyenne, correspondent à 1.87 atmosphère, en telle sorte que la pression de la vapeur, à la suite de son passage dans le petit cylindre, se trouve réduite de 5.60 à 1.87, ou dans le rapport de 3 à 1. On voit déjà que la détente, dans le petit cylindre, est très-grande, et que par conséquent le refroidissement qui en est la suite doit être très-marqué.

Au reste, nos indications thermométriques mettent parfaitement ce résultat en évidence. D'après les tables de M. Regnault, la pression moyenne de 5.60 atmosphères appartient à de la vapeur saturée à 155°, et la température moyenne à la sortie du

petit cylindre n'est que de 117.55. Il y a donc eu, dans le trajet, un abaissement de près de 40°. Le réchauffeur porte cette température à 130°.22; son efficacité ne peut être mieux mise en évidence que par ce réchauffement de 13°.

Des indicateurs de pression avaient été placés sur les deux cylindres; mais les conduits de celui du cylindre à basse pression se sont trouvés bouchés presque entièrement, en telle sorte que, sous ce rapport, nous sommes restreints, pour nos appréciations, aux seuls tracés, au nombre de 16, obtenus sur les deux chambres de petit cylindre.

L'indicateur employé donnait une flexion de 13.50 millimètres par atmosphère, et cette tare nous permet d'estimer le degré de concordance entre les tracés et les manomètres.

Tableau des pressions estimées par la lecture des manomètres et par les ordonnées des diagrammes à l'admission et à l'échappement.

HEURES des observations.	NUMÉROS des diagrammes.	INDICATIONS des chambres.	PRESSIONS au manomètre.	ORDONNÉES à l'admission.	PRESSIONS au réservoir intermédiaire.	ORDONNÉES à l'échappement.
h. m.						
8.15	1	s.	5.50	59	13	10
8 15	2	i.	5.50	60	13	10
8.30	3	s.	5.90	66	15	12
8.30	4	i.	5.90	66	15	12
8.45	5	s.	6.03	69	14	13
8.45	6	i.	6.03	69	14	13
9.0	7	s.	5.77	64	13	12
9.15	8	i.	6.05	64	13	13
9.18	9	s.	6.00	64	13	12
9.18	10	i.	6.00	60	13	11
9.45	12	s.	5.35	62	11	12
9.45	13	i.	5.35	61	11	11
10.0	14	s.	5.45	59	11	10
10.0	15	i.	5.45	58	11	10
10.15	16	s.	5.82	66	14	11
10.15	17	i.	5.82	64	14	12
			5.745	63.2	13.0	11.5

A l'inspection de ce tableau, nous remarquerons d'abord que la pression moyenne, pour les instants, pendant lesquels les diagrammes ont été pris, est de 5.745 atmosphères, et par conséquent très-peu différente de la moyenne des pressions pendant toute la durée des expériences. Ces diagrammes représen-

teront donc, pour nous, la véritable valeur du travail mesuré à l'indicateur.

L'ordonnée moyenne de 63.2 millimètres, obtenue d'après ces diagrammes au-dessus de la ligne atmosphérique, correspond à une pression de 4.68 atmosphères, et, en ajoutant une pression atmosphérique à ce chiffre, on arrivera à un total de 5.68 atmosphères, tandis que, dans les générateurs, la pression correspondante est de 5.745; nous avons donc encore une concordance parfaite qui doit nous donner toute confiance dans nos relevés.

L'ordonnée minimum de 11.5 millimètres correspond pour l'échappement à $1 + 0,85 = 1.85$ atmosphère, et la lecture directe du manomètre nous a donné 1.84; nos expériences se sont donc faites aussi dans d'excellentes conditions sous ce rapport.

Nous donnons immédiatement les résultats des relevés faits au planimètre sur ces 16 diagrammes.

RELEVÉS DES DIAGRAMMES de la chambre inférieure.			RELEVÉS DES DIAGRAMMES de la chambre supérieure.		
NUMÉROS des diagrammes.	ORDONNÉES moyennes en millimètres.	TRAVAIL développé correspondant.	NUMÉROS des diagrammes.	ORDONNÉES moyennes en millimètres.	TRAVAIL développé correspondant.
	mill.	km.		mill.	km.
2	29.13	5680.59865	1	28.21	5365.71726
4	30.78	6002.15140	3	28.98	5512.85764
6	30.40	5928.05077	5	29.93	5672.71371
8	30.48	5943.65090	7	28.43	5388.41466
10	31.95	6230.30336	9	30.58	5795.89996
13	29.36	5725.24903	12	28.81	5460.43708
15	29.80	5811.04977	14	28.26	5356.19417
17	29.50	5752.54927	16	29.46	5583.53334
	30.05	5884.4504		29.08	5516.9709

Les calculs relatifs à la détermination du travail développé ont été faits, comme précédemment, au moyen des volumes calculés des deux chambres du petit cylindre. Il en résulte que le travail moyen indiqué dans la chambre inférieure du petit cylindre est de. 5884km.4504

dans la chambre supérieure du petit cylindre.. . 5516 .9709

Ensemble, pour un tour. . . . 11401 .4393

Ce travail par tour correspond, à raison de 47.94 tours par minute, à un travail indiqué par seconde, de

$$\frac{47.94 \times 11401\ 4393}{60} = 9109.75 \text{ kilogrammètres,}$$

et en divisant par 75 on obtient, pour le travail indiqué en chevaux, 121.463 chevaux.

En l'absence de tout diagramme relevé sur le grand cylindre, nous sommes obligés, pour déterminer le travail développé sur son piston, de recourir aux courbes obtenues dans le second voyage.

Cette appréciation, sur les détails de laquelle nous aurons à revenir bientôt, afin d'en indiquer les bases, nous a conduit à évaluer le travail du grand cylindre à 173.802 chevaux, en sorte que le travail total indiqué serait de

$$121.463 + 173.802 = 295.265 \text{ chevaux.}$$

Ce travail développé est notablement plus grand que pour l'*Orne;* mais, dans le voyage à la remonte, dont nous nous occupons ici exclusivement, l'*Éclair* a pris l'avance sur son concurrent, et cette circonstance explique suffisamment l'augmentation à laquelle nous sommes conduit dans la mesure du travail.

En rapportant à ces 295.265 chevaux la consommation déjà trouvée de 460.87 kilogrammes de combustible par heure, on arrivera à une consommation, par heure et par cheval indiqué, de

$$\frac{460.87}{295.265} = 1^{k}.561.$$

Voyage de l'Éclair à la descente.—Le voyage de retour, de Rouen au Havre, s'est fait pour l'*Éclair* dans les mêmes conditions que pour l'aller, si ce n'est que la pression a été beaucoup moindre, et que la durée du trajet a été plus grande d'une heure.

Voici tous les éléments principaux de ce trajet de retour.

Tableau des observations faites sur l'Éclair à la descente (1er *juillet* 1863).

HEURES des observations.	CHARBON mis en consommation.	NOMBRE de tours au compteur.	PRESSIONS OBSERVÉES aux cylindres. Tribord.	Bâbord.	au réservoir intermédiaire.	VIDE au condenseur.	TEMPÉRATURES à la sortie du petit cylindre.	à l'entrée du grand cylindre.	DIAGRAMMES. NUMÉROS des courbes.	cylindres.
h. m.	kil.	t.	at.	at.	t.	c.				
3.54	....	13395	3.80	3.75	....	....	....	....	....	
3.57	200	.....	......	......	3.5	69	106	117	....	
4.0	....	.....	4.10	4.00	....	....	....	....	1, 2, 3	p. et g.
4.1	....	13690	......	......	3.6	69	....	....	....	p. g.
4.15	....	14190	4.12	4.00	4.5	69	108	117	4, 5, 6	p. g.
4.30	....	14817	4.20	4.10	6.2	69	112	125	7, 8, 9	p. g.
4.35	200	.....	......	......	....	....	....	....	....	
4.45	....	15480	4.20	4.10	6.5	69	110	123	10, 11, 12	p. g.
5.0	....	16123	5.15	5.00	6.0	69	106	125	13, 14, 15	p. g.
5.2	....	.....	5.15	5.00	....	....	....	....	....	
5.15	....	16805	4.60	4.50	6.5	69	110	121	16, 17, 18	p. g.
5.17	200	.....	......	......	....	....	....	....	....	
5.30	....	17900	5.15	5.05	6.0	69	113	129	19, 20, 21	p. g.
5.38	200	.....	......	......	....	....	....	....	....	
5.45	....	18573	5.50	5.40	10.7	69	115	133	21 bis, 22, 23	p. g.
6.0	....	18926	5.30	5.20	10.0	69	115	131	24, 25	p.
6.8	200	.....	......	......	....	....	....	....	....	
6.15	....	19609	4.90	4.80	8.0	68	....	....	26, 27, 28	p. g.
6.30	....	20382	4.90	4.80	8.5	68	111	121	29, 30, 31	p. g.
6.37	200	.....	......	......	....	....	....	....	....	
6.45	....	20964	4.60	4.50	8.0	68	109	127	32, 33, 34	p. g.
7.0	....	21603	5.12	5.00	8.0	69	111	129	35	g.
7.15	200	22320	4.90	4.75	9.0	69	110	129	....	
7.30	....	22928	5.25	5.00	8.0	68	110	129	....	
7.45	....	23565	4.60	4.50	6.0	69	108	124	36	g.
8.0	....	24181	4.50	4.40	6.0	68	109	129	....	
8.15	200	24891	4.50	4.40	6.0	69	108	124	....	
8.30	....	25486	4.60	4.45	5.5	69	108	124	....	
8.32	200	.....	......	......	....	....	....	....	....	
8.45	....	26180	4.50	4.40	5.3	69	108	122	....	
9.0	....	26897	4.75	4.55	7.0	69	110	126	....	
9.13	100	.....	......	......	....	....	....	....	....	
9.15	....	27496	4.80	4.75	7.3	69	110	125	....	
9.30	....	28038	4.75	4.60	6.0	69	110	122	....	
5.36	1900	14643	4.717	4.60	6.76	68.8	109.86	125.17	37 courbes.	

Le voyage a duré $5^h\ 36'$ ou 5.60 heures. Le combustible brûlé s'est élevé exactement à 1900 kilogrammes, ce qui porte la consommation par heure à $1900 : 5.60 = 339^k.50$; elle est notablement moindre que pendant la première expérience, mais nous verrons que le travail développé a diminué à peu près dans la même proportion.

Le nombre total des tours de la machine est de 14643, ou par minute de 14643 : 336 = 43.58. La pression ayant été moins élevée, la marche de la machine s'est trouvée ralentie.

La pression moyenne, telle qu'elle résulte d'observations faites exactement toutes les 15 minutes, ne s'est élevée qu'à 4.66 atmosphères; c'est presque une atmosphère de moins que dans le voyage à la remonte.

Par contre, le vide au condenseur a été un peu meilleur : 68.8 centimètres, au lieu de 67.5.

La pression ayant été moindre dans la chaudière, elle s'est maintenue moindre aussi dans le réchauffeur : 6.76 livres par pouce carré, ou 1,40 atmosphère, au lieu de 1.84.

Néanmoins, le réchauffage a été plus marqué, puisque la température de la vapeur, à la sortie du premier cylindre, 109°.86, a été portée, avant son entrée dans le grand cylindre, à 125.17; l'augmentation de température est ainsi de plus de 14 degrés au lieu de 13.

D'autres observations thermométriques ont été faites : la température de l'eau d'injection étant de 21°, celle de l'eau du condenseur était de 35° à 4^h 35′, de 37° à 5^h 50′.

Au moyen d'un pyromètre métallique, on a trouvé que la température des gaz de la combustion s'élevait, au bas de la cheminée, à

380°	à	5^h.42′
400	à	5 .57
435	à	6 .8
409	à	7 .7
475	à	9 .13
425°		moyenne.

Les indicateurs installés sur les deux cylindres ont bien fonctionné; nous avons reproduit, fig. 2 et 3, les diagrammes 4, 5 et 6 de ces expériences; les deux premiers ont été obtenus presque simultanément sur le petit cylindre; le troisième au même instant sur le grand. Nous indiquerons séparément les relevés des 24 diagrammes obtenus sur le petit cylindre, et des 13 diagrammes tracés sur le grand.

En ce qui concerne les premiers, il suffira d'indiquer, comme

concordance, que la moyenne des ordonnées à l'admission représente une pression de 4.18 atmosphères, tandis que l'indication correspondante des manomètres est de 4.67 atmosphères.

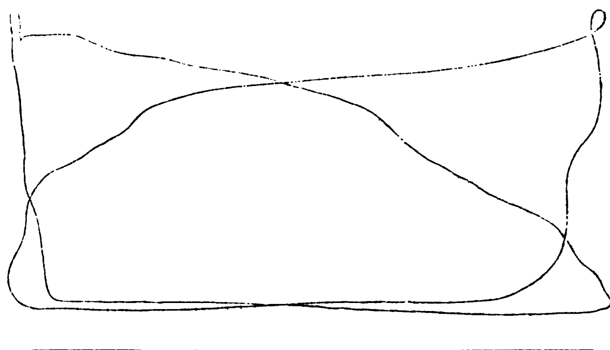


Fig. 2.

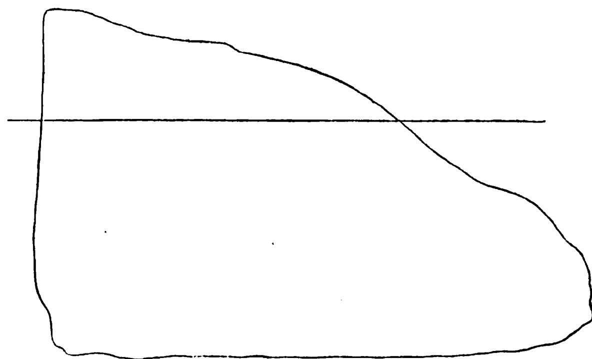


Fig. .

A l'échappement, on trouve, d'après les diagrammes, une moyenne de 1.501 atmosphère, et seulement 1.467 d'après les indications du manomètre placé sur le réservoir intermédiaire du réchauffeur. Voici, d'ailleurs, pour ces 24 courbes, l'indication de l'ordonnée moyenne et du travail indiqué correspondant.

RELEVÉS DES DIAGRAMMES de la chambre inférieure.			RELEVÉS DES DIAGRAMMES de la chambre supérieure.		
NUMÉROS des diagrammes.	ORDONNÉES moyennes en millimètres.	TRAVAIL développé correspondant.	NUMÉROS des diagrammes.	ORDONNÉES moyennes en millimètres.	TRAVAIL développé correspondant.
	mill.	km.		mill.	km.
3	21.18	4130.1354	2	22.44	4253.1138
6	24.19	4717.0904	5	25.51	4834.9792
9	28.65	5586.7978	8	27.61	5252.9978
12	25.31	4935.4953	11	23.97	4543.0988
14	25.73	5017.3930	13	25.53	4838.7698
17	23.05	4494.7885	16	23.49	4452.1231
20	26.64	5194.8445	19	27.36	5185.6147
22	30.13	5875.4003	21 bis.	27.73	5254.7418
25	29.12	5678.4486	24	27.51	5214.0446
27	26.30	5128.5439	26	24.74	4689.0390
30	26.21	5110.9938	29	25.00	4678.4486
33	26.17	5103.1937	32	24.32	4609.4353
	25.223	5075.2518		25.434	4820.6896

L'indicateur employé fléchissait de 15$^{mill.}$,6 par atmosphère, et c'est ce chiffre qui a été introduit dans le calcul du travail, au moyen de l'ordonnée moyenne des diagrammes.

Le travail développé dans le petit cylindre se répartit, d'après ces indications, de la manière suivante, pour chaque tour :

Chambre inférieure	5 075.2518^{km}
Chambre supérieure	4 820.6896
Total.	9 895.9414^{km}

Il est important de remarquer que ce travail est beaucoup moindre que dans le premier voyage, et si nous l'augmentions dans le rapport inverse des pressions, nous arriverions à

$$9896 \times \frac{5.61}{4.67} = 11\,888 \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail n'a donc pas varié, dans ce cylindre, proportionnellement aux pressions, mais dans un rapport un peu plus faible : 1.15 au lieu de 5.61 : 4.67 = 1.20.

Tous les diagrammes du grand cylindre ont été obtenus sur la chambre supérieure; en voici le relevé complet :

Relevés des diagrammes de la chambre supérieure du grand cylindre.

NUMÉROS des diagrammes.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	TRAVAIL développé correspondant.	HEURES des observations.	PRESSIONS observées au réservoir.	ORDONNÉES des diagrammes à l'admission.	VIDE observé au manomètre.	ORDONNÉES des diagrammes à l'échappement.
	mill.	km.		l.	mill.		mill.
1	31.08	4665.3256	3.57	3.5	12	69	31
4	33.04	4959.3353	4.15	4.5	19	69	33
7	43.04	6460.6053	4.30	6.2	27	69	34
10	35.10	5268.7557	4.45	6.5	15	69	32
15	42.50	6379.5475	5.2	6.2	26	69	32
18	34.80	5223.7236	5.15	6.5	17	69	32
21	42.93	6444.0935	5.30	6.0	25	69	32
23	45.81	6876.4017	5.45	10.7	24	69	35
28	39.79	5972.7575	6.15	8.0	18	68	34
31	35.34	5304.7814	6.30	8.5	18	69	33
34	35.31	5300.2781	6.45	8.0	16	68	33
35	33.35	5006.0685	7.0	8.0	22	69	33
36	32.39	4861.9657	7.30	6.0	14	69	33
	36.96	5601.6799		6.82	19.4	69	32.84

Le crayon de l'indicateur employé sur ce cylindre se déplaçait de 37.53 millimètres par atmosphère, et c'est cette tare qui a servi à calculer le travail développé sur le piston.

La pression moyenne mesurée au manomètre est de 6.82 livres par pouce carré, ce qui correspond à 1.465 atmosphère à l'admission; l'examen des courbes fait voir que la pression moyenne indiquée est de $\frac{19.4}{37.53} = 0.52$ atmosphère; il en résulterait donc que les ordonnées indiqueraient les pressions au-dessus de la ligne atmosphérique, non pas dans le rapport de 37.53 millimètres par atmosphère, mais dans celui de $19.4 : 0.465 = 41^{m}/_{m}.72$.

Il y a pour le vide une concordance plus parfaite, car 69 centimètres de mercure correspondent à $69 : 76 = 0.908$ atmosphère, et l'ordonnée moyenne 32.38 millimètres des diagrammes, équivaut à $32.38 : 37.53 = 0.863$ atmosphère.

Quant à la pression moyenne dans les générateurs, elle est bien celle de l'expérience tout entière, car ces courbes du grand cylindre ont été prises aux mêmes heures que les courbes du petit, et nous nous sommes déjà, pour ces dernières, assuré de la concordance.

Il ne nous reste plus qu'à estimer le travail développé dans la chambre inférieure du grand cylindre, et nous n'avons, pour cette estimation, aucune courbe tracée par l'instrument lui-même, les dispositions de la machine ne permettant pas d'y placer un indicateur ; mais nous pouvons y suppléer par la comparaison de deux courbes théoriques obtenues en tenant compte, pour l'une et l'autre chambre, des conditions particulières de la distribution. On trouve ainsi que l'ordonnée moyenne, dans la chambre inférieure, serait égale à celle de la chambre supérieure, multipliée par 1.045, et, en partant de cette base, nous obtiendrons le travail développé sur la face inférieure du piston, en multipliant le travail développé sur sa face supérieure par 1.045 et par le rapport des volumes correspondants, ce qui donnerait

$$5601.6799 \times 1.045 \times \frac{0.55338}{0.54532} =$$

$$= 5601.6799 \times 1.045 \times 1{,}0148 = 6134^{km}.7300.$$

Nous pouvons maintenant récapituler les quantités de travail développées dans les différentes chambres des deux cylindres ainsi qu'il suit :

Chambre inférieure du petit cylindre	5 075.2518
Chambre supérieure du petit cylindre	4 820.6896
Chambre supérieure du grand cylindre	5 601.6799
Chambre inférieure du grand cylindre	5 957.3865
Total par tour	21 455.0078

En nous reportant à la vitesse moyenne de 43.58 tours par minute, on arrive ainsi, pour l'évaluation du travail par seconde,

à $\frac{43.58}{60} \times 21455.0078 = 15583.987$ kilogrammètres,

et, pour l'estimation du nombre des chevaux indiqués,

à 15583.937 : 75 = 207.78 chevaux.

En partant de ce chiffre, la consommation de combustible, par heure et par cheval indiqué de 75 kilogrammètres, serait

$$\frac{339.50}{207.78} = 1{,}634 \text{ kilogramme.}$$

C'est ici le lieu d'indiquer comment nous avons été conduit à estimer à 173.802 chevaux le travail développé dans le grand cylindre pendant le voyage précédent.

Dans le trajet de retour de Rouen au Havre, nous venons de trouver que le travail développé dans le grand cylindre était, pour chaque tour :

Dans la chambre supérieure.	5 601.6799
Dans la chambre inférieure	5 957.3865
Ensemble . . .	11 559.0664

pour une pression moyenne, au réservoir intermédiaire, de 1.46 atmosphère, et pour un vide moyen de 0.863.

Ces conditions ne sont pas les mêmes que celles du voyage à la remonte, pour lequel la pression moyenne au réservoir était de 1.87 atmosphère, et le vide correspondant de $0^{at}.889$.

Si l'on augmentait le travail par tour dans la même proportion que la pression motrice, on arriverait donc, pour la première expérience, à $11\,559.0664 \times \frac{1.87}{1.46} = 14\,805.103$. Mais cette évaluation ne tiendrait compte ni de la différence du vide, ni du défaut de concordance entre le manomètre et l'indicateur. Les chiffres fournis par ce dernier instrument sont d'ailleurs ceux qui méritent le plus de confiance, parce que la vérification en a été directement faite au moment de l'expérience, au moyen de charges qui y ont été directement suspendues.

Il nous a paru plus convenable de modifier graphiquement les courbes de la seconde expérience, en leur conservant leur forme générale, et en donnant aux ordonnées d'admission et d'échappement les longueurs qui conviennent aux pressions moyennes observées. On trouve ainsi qu'à l'admission l'ordonnée au-dessus de la ligne atmosphérique doit avoir pour mesure $0^{at}.87 \times 41.72 = 36.2$ millimètres. Le relevé de cette courbe nous a fourni, à l'échelle des diagrammes, une ordonnée moyenne de 52.67 millimètres, et par conséquent une pression motrice de $52.67 : 37.53 = 1.4034$ atmosphère. Le travail correspondant, dans la chambre supérieure, serait alors donné par le produit

$$10330 \times 1{,}4034 \times 0{,}54532 = 7905.5706.$$

Nous avons vu, précédemment, que, par suite d'une plus

grande admission et de l'absence de la tige du piston, le travail dans la chambre inférieure se trouve augmenté dans le rapport de 1.0635. Si donc nous multiplions 7905.5706 par 2.6035, nous aurons le travail total dans les deux chambres, et ce produit est égal à

$$2.6035 \times 7\,905,5706 = 16\,313.1449;$$

ce qui correspond, en chevaux indiqués de 75 kilogrammètres, à un travail de

$$\frac{16313.1449 \times 47.94}{75} = 173.80 \text{ chevaux.}$$

En rappelant les chiffres de consommation qui précèdent, on trouve :

Dans l'expérience à la remonte.. . .	1^k,561
Dans l'expérience à la descente.. . .	1 ,634
Moyenne.. . .	1 ,592

En résumé, les résultats qui précèdent établissent que la transformation incomplète que M. Normand a fait subir à la machine du bateau l'*Éclair* se traduit par les chiffres suivants :

L'*Orne* a dépensé en moyenne 2^k,490 de combustible par cheval et par heure; cette consommation s'est trouvée réduite sur l'*Éclair* à 1^k,592.

La différence ainsi constatée démontre toute l'importance du réchauffage de la vapeur après son fonctionnement dans les cylindres ordinaires des machines du système de Woolf.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers,

Paris, le 15 octobre 1863.

H. TRESCA.

Vu : le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

SUR L'APPAREIL DISTILLATOIRE, DIT ÉRORATEUR,

DE M. KESSLER.

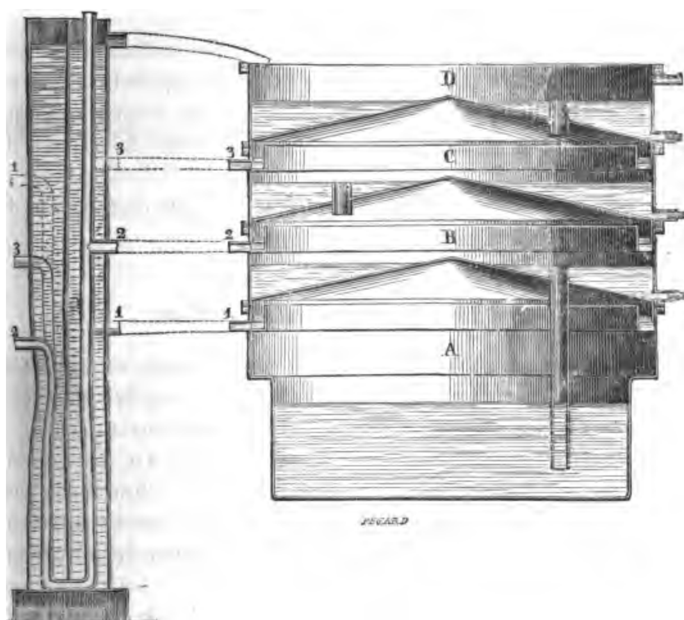
M. Kessler a fait, pour diverses industries, l'application d'appareils vaporisateurs à multiple effet, dans lesquels, par la superposition d'un certain nombre de cases, il utilise, à plusieurs reprises, la chaleur dépensée pour produire la première vaporisation. Cette première vapeur, en se condensant au contact du couvercle de la première case, abandonne sa chaleur latente à ce contact, et cette chaleur sert ainsi à produire dans la seconde case, et ainsi de suite, dans les diverses cases superposées, une nouvelle vaporisation.

Modifiés dans leurs détails de construction suivant l'objet spécial auquel ils sont destinés, ces appareils sont, lorsqu'ils sont portatifs et de petite dimension, de forme cylindrique, et la pente donnée aux couvercles, par leur forme légèrement conique, permet de recueillir à l'extérieur le produit de chaque condensation. La figure ci-jointe représente l'appareil distillatoire de M. Kessler dans toute sa simplicité.

A est la chaudière proprement dite, ou première case, sur laquelle se place la seconde case, B, qui s'embotte dans la première, ou dont le bord inférieur pénètre dans un anneau, ménagé pour former joint hydraulique, au haut de la première case.

Les cases C et D sont disposées de la même façon, et pourraient d'ailleurs être en plus grand nombre. La dernière, D, non recouverte, porte le nom de condenseur. C'est dans cette dernière case qu'on introduit en général l'eau que l'on veut distiller; elle s'y

échauffe par la condensation, sur toute la surface de son fond conique et pénètre, par les tubes de trop-plein, jusque dans la chaudière principale, A.



Dans le cas où le liquide à distiller doit être recueilli en entier, on l'introduit dans l'une des capacités intermédiaires, dont on recueille directement le produit; les autres cases fournissent alors de l'eau distillée, que l'on obtient ainsi sans aucune dépense spéciale de combustible.

Dans les distillations de liquides ayant une certaine valeur, pour éviter toute perte par évaporation, on fait arriver les condensations de chaque case dans un tube en U renversé, tel que celui qui est représenté en E, et qui est entouré d'un liquide froid, destiné à refroidir, jusqu'à la température ambiante, les produits de la condensation.

M. Kessler a déjà installé divers appareils, soit pour la distillation, soit pour la concentration et la cristallisation des dissolutions salines, et il nous a demandé de faire au Conservatoire

une constatation sur l'un des appareils distillateurs les plus simples.

L'appareil sur lequel nous avons opéré se composait des quatre cases qui sont représentées sur le dessin ci-joint; le diamètre de ces cases était de $0^m,54$.

Une triple couronne de becs de gaz avait été installée au-dessous de la chaudière pour servir aux diverses opérations; mais on n'a généralement employé que deux de ces couronnes, qui formaient un foyer suffisant, consommant environ 250 litres de gaz à l'heure.

On a consacré des expériences spéciales à la distillation de l'eau et à celle de l'alcool.

Expériences sur la distillation de l'eau.

M. Kessler a employé pour cet objet quatre cases superposées de son appareil; le fond de chacune des cases supérieures servait de couvercle à la case placée immédiatement au-dessous.

La dernière, à laquelle il donne, comme on l'a vu, le nom de condenseur, était ouverte à l'air libre, et c'était dans cette case que l'eau arrivait tout d'abord, après avoir parcouru toutefois un tube en U , dans lequel l'eau s'échauffait, en refroidissant l'eau distillée de chacun des compartiments.

L'alimentation des différentes cases se faisait par les tubes de trop-plein disposés sur chaque couvercle, et les divers assemblages fermaient suffisamment sans qu'il fût nécessaire de faire usage d'aucun lut.

Le tube d'alimentation en U n'est habituellement employé que pour les liquides très-volatils et d'un prix élevé : nous ne l'avons utilisé dans cette expérience que pour recueillir autant que possible la chaleur qui aurait été inutilement emportée par les produits de la distillation.

On a recueilli séparément par les tubes 1, 2 et 3, le produit de chaque case, et le tableau suivant renferme toutes les indications relatives à ces produits partiels.

La température de l'eau, à son entrée dans l'appareil, s'est maintenue à 25°; la température moyenne de l'eau distillée était de 26° seulement; on peut considérer que sous ce rapport on était placé dans les meilleures conditions.

Première expérience de distillation ; appareil composé de trois bassines distillatoires et d'une bassine évaporatoire.

HEURES des observations.	VOLUMES d'eau introduits.	PRODUITS RECUEILLIS. 1re bassine.	2e bassine.	3e bassine.	TEMPÉRATURE dans la bassine évaporatoire.	CONSOMMATION du gaz.
	lit.					lit.
11h.22'	10					
11 .27		Commencement de la distillation.			62°	0
11 .55	2					
11 .59		lit.	lit.	lit.	62	166
12 .47	2				62	421
1 .15		2.000		1.000	62	
1 .40		1.000	2.000			
1 .54	2				63	661
2 .20	2				62	771
2 .56	2					
2 .57					63	951
3 .9				1.000	63	
3 .22	6	2.340	1.535	0.143		1060
4 .0	26	5.340	3.535	2.143	62.5	1060

Les quantités d'eau recueillies à 3h,22 sont celles qui se trouvaient dans les tubes de décharge au moment où l'opération a été terminée.

Le produit total de la distillation se compose de la somme des trois distillations partielles; il s'élève à 11,018 litres, mais ce chiffre ne comprend pas la vaporisation qui a eu lieu dans le condenseur.

On a introduit au total dans l'appareil 26 litres d'eau : il n'en restait plus à la fin de l'opération que 11 litres; on a donc réellement vaporisé 26 — 11 = 15 litres, dont 11,018 seulement ont été recueillis comme eau distillée.

Afin d'obtenir, avec autant d'exactitude que possible, une évaluation de la chaleur dépensée, le chauffage s'est fait avec un fourneau à gaz disposé sous le vase inferieur.

La consommation du gaz a été mesurée par un compteur très-sensible, et s'est élevée à 1060 litres, depuis le moment de l'allumage jusqu'à celui de l'extinction des becs.

D'après ces indications, les résultats généraux de l'expérience sont les suivants :

Durée de l'expérience. . . . . 4 heures,
Eau distillée, recueillie. . . . . 11,018 litres,
Eau totale vaporisée.. . . . . 15,000 litres,
Volume de gaz consommé. . . . . 1060 litres.

En réduisant cette consommation à 1 mètre cube, les produits seraient seulement :

Eau distillée, par mètre cube de gaz. . . . . 10,40 litres,
Eau totale vaporisée par mètre cube de gaz. 14,15 litres.

Si nous voulons comparer ces résultats à ceux que fournirait en service courant la distillation à la houille, il faudrait multiplier le nombre précédent par $\frac{4}{3}$, les pouvoirs calorifiques moyens des deux combustibles étant de 8000 pour le kilogramme de houille et 6000 seulement pour le mètre cube de gaz.

On arriverait ainsi à une distillation de $10.40 \times \frac{4}{3} = 17{,}2$ kil. par kilogramme de houille, et à une vaporisation totale de $14.15 \times \frac{4}{3} = 18{,}86$ pour la même quantité de combustible.

Ces résultats s'expliquent facilement par l'utilisation successive de la même chaleur, qui, absorbée lors de la première formation de vapeur, est restituée aux divers compartiments par la condensation même de cette vapeur.

On remarque que les quantités d'eau vaporisées diminuent d'une case à la suivante, chaque condensation n'utilisant qu'une partie de moins en moins grande de la chaleur employée à la première vaporisation.

Si l'on déduit des 15 kilogrammes réellement vaporisés, les 11,018 qui ont été recueillis, on trouve par différence que la seule bassine ouverte, ou condenseur, aurait donné lieu à une vaporisation de 3,982, un peu plus grande que celle de la deuxième case. Cette augmentation relative d'effet, si elle était plus spécialement constatée, pourrait facilement s'expliquer par cette raison que la surface du liquide de ce condenseur est constamment en contact avec l'atmosphère ambiante, et non pas, comme dans les autres cases, avec une atmosphère toujours saturée de vapeur.

Afin d'évaluer plus directement l'économie résultant de l'em-

ploi des appareils à double effet de M. Kessler, nous avons vaporisé de l'eau dans le même appareil, agissant à simple effet et chauffé à l'aide du même fourneau à gaz que précédemment.

Dans une première expérience la chaudière était recouverte de son couvercle constamment refroidi par le renouvellement de l'eau qui le baignait; dans une seconde expérience, la vaporisation avait lieu à l'air libre, et le résultat a été précisément le même que dans la première. Enfin une troisième expérience a été faite en augmentant le nombre des becs de gaz, afin d'activer la vaporisation. Dans ce dernier cas, la vaporisation par mètre cube a augmenté dans une notable proportion; mais le résultat qui a été obtenu avec un foyer différent, ne peut être comparé à ceux qu'a fournis l'emploi de l'appareil à multiple effet.

Voici du reste les principaux éléments de ces trois déterminations.

Expériences de distillation; appareil simple.

DURÉES des expériences.	POIDS D'EAU vaporisée.	CONSOMMATION de gaz.	TEMPÉRATURE au condenseur.	TEMPÉRATURE de l'eau distillée.	EAU VAPORISÉE par mètre cube.	DÉSIGNATION DE L'APPAREIL.
3h.53'	10k	2298	49° à 62°	250°	4k.35	Une seule case, recouverte du condenseur.
57	5	1151	»		4 .34	Une seule case découverte.
15	2	380	»	330	5 .26	Une seule case, recouverte, feu plus actif.
					4k.65	Moyenne.

En nous arrêtant au chiffre des deux premières expériences, on voit que la vaporisation par mètre cube de gaz ne s'est élevée qu'à 4,35 litres, au lieu de 14,15 comme précédemment.

L'emploi de l'appareil à multiple effet a donc augmenté l'effet utile dans le rapport de 14,15 à 4,35, ou de 3,25 à 1,00.

Cette vaposisation de 4,35 litres par mètre cube de gaz reviendrait d'ailleurs, en calculant comme précédemment, à

$4,35 \times \frac{4}{3} = 5,80$ litres par kilogramme de houille, et ce résultat

montre que l'appareil ne fonctionnait pas, comme appareil à simple effet, dans les conditions les plus favorables.

Toujours est-il qu'à quadruple effet il donne comme vaporisation un résultat triple de celui que l'on obtient à simple effet dans des conditions aussi comparables que possible.

Expériences sur la distillation de l'alcool.

Les chiffres précédents étant établis pour la distillation de l'eau seule, on a cherché quelle serait la marche de l'appareil dans le cas le plus usité en industrie, et l'on a pris pour exemple le cas de l'évaporation d'un extrait alcoolique, la distillation de l'alcool au bain-marie simple.

A cet effet on a versé de l'eau dans le compartiment nº 1 ; on a recouvert ce compartiment avec la case nº 2, dont on a fermé les deux orifices d'alimentation et de trop-plein, par des bouchons, après y avoir introduit 10 litres d'alcool à 95º,2, et l'on a recouvert le tout avec le condenseur, dans lequel on a maintenu, pendant toute la durée de l'expérience, une couche d'eau suffisante, dont la température est indiquée dans le tableau suivant.

Expérience de distillation ; appareil à trois bassines, celle du milieu étant chargée d'alcool.

HEURES des observations.	ALCOOL distillé recueilli.	TEMPÉRATURE au condenseur.	CONSOMMATION du gaz.
3h.56'			0l
4 .18	0l.0	35l	308
4 .28	1.0	»	»
4 .38	1.0	40	»
4 .49	1 0	43	»
5 .0	1.0	43	»
5 .13	1.0	43	»
5 .21	1.0	37	»
5 .30	1.0	48	»
5 .37	1.0	40	»
5 .46	1.0	40	»
5 .49	0.8	40	982
1 .53	9.8	41	982

On a ainsi distillé, en $1^h,53'$, 9,80 litres d'alcool, au degré de $94^o,8$, et avec une dépense totale de 982 litres de gaz.

Ce produit revient à 10 litres d'alcool par mètre cube, et il faut encore ajouter à cette distillation celle de 4,20 litres d'eau, qui ont été recueillis, après distillation et condensation, à la sortie du compartiment principal n° 1.

La distillation de l'alcool ou des extraits alcooliques se trouve ainsi accompagnée de celle d'un volume d'eau presque égal à la moitié de celui de cet alcool. C'est plus qu'il n'en faut dans la plupart des distilleries, qui se trouveraient ainsi alimentées, sans aucuns frais, de toute l'eau distillée dont elles peuvent avoir besoin.

En résumé, l'appareil à multiple effet de M. Kessler est, par sa forme simple et sa construction facile, parfaitement approprié aux besoins de l'industrie, et il permet de tripler la quantité d'eau vaporisée, pour une dépense donnée de combustible.

Si dans la première expérience nous nous bornions à tenir *compte* de l'eau distillée recueillie, nous verrions encore que cette quantité est deux fois et demie aussi grande que celle évaporée à feu nu dans les appareils ordinaires. Le rapport exact est

$$11,018 : 4,35 = 2,53.$$

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 1er octobre 1863.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

SUR LA

Détermination du coefficient d'élasticité du bronze d'aluminium.

L'emploi chaque jour plus répandu du bronze d'aluminium dans la construction des instruments de précision nous avait engagé déjà à déterminer le coefficient d'élasticité de ce précieux alliage, qui paraît être surtout bien défini lorsqu'il renferme neuf parties de cuivre pour une partie d'aluminium. Nous nous sommes servi, pour cette détermination, d'une barre rectangulaire que M. Morin, directeur de l'usine d'Asnières, a bien voulu mettre à notre disposition; elle avait une section de $0^{m}.015 \times 0.0255$, et sa longueur était suffisante pour qu'elle ait pu être placée, de champ, sur des appuis distants de $1^{m}.008 = 2C$.

La pièce a été chargée en son milieu de poids variables qui ont été portés jusqu'à 128 kilogr., et les nombres qui indiquent les flexions observées au cathétomètre sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau des expériences de flexion, faites sur une barre de bronze d'aluminium.

Dimensions transversales $a = 0^m.015$; $b = 0^m.0255$; distance entre les appuis $2C = 1^m.088$.

CHARGES au milieu.	LECTURES du cathétomètre.	FLEXIONS Partielles.	FLEXIONS Totales.	FLEXIONS rapportées à une charge de 10 kilogr.	
	m.				
kilog.	0.45558	0.0000			
4	0.45524	0.34	0.34	0.850	
8	0.45494	0.30	0.64	0.800	
12	0.45460	0.34	0.98	0.817	
16	0.45430	0.30	1.28	0.800	
20	0.45390	0.40	1.68	0.840	
25	0.45348	0.42	2.10	0.840	
30	0.45304	0.44	2.54	0.847	
35	0.45268	0.36	2.90	0.829	
40	0.45226	0.42	3.36	0.830	
45	0.45186	0.40	3.72	0.827	
50	0.45148	0.38	4.10	0.820	
55	0.45104	0.44	4.54	0.825	
60	0.45064	0.40	4.94	0.827	
65	0.45024	0.40	5.34	0.822	
70	0.44988	0.36	5.70	0.814	
75	0.44946	0.42	6.12	0.816	
80	0.44904	0.42	6.54	0.818	Moyenne
88	0.44838	0.66	7.20	0.818	0.823
96	0.44762	0.76	7.96	0.829	
104	0.44696	0.66	8.62	0.829	
112	0.44624	0.72	9.34	0.833	
120	0.44556	0.68	10.02	0.835	
128	0.44480	0.76	10.78	0.842	
			Moyenne..	0.8435	

D'après ces nombres, on voit que les flexions sont restées sensiblement proportionnelles aux charges jusqu'à une déformation de 6.54 millimètres, correspondant à une charge de 80 kilog.

En faisant la moyenne des flexions proportionnelles jusqu'à cette limite, on trouve que la flexion moyenne, pour la charge de 10 kilog., est de 0.825 millimètre. Le coefficient d'élasticité est donné, dans de pareilles conditions, par la formule générale

$$E = \frac{P C^3}{3 f I},$$

dans laquelle il nous suffira de remplacer chaque notation par sa valeur particulière dans les expériences.

Le moment d'inertie I est égal à

$$I = \frac{a b^3}{12} = \frac{0{,}015 \times (0{,}0255)^3}{12} = 0{,}000\,000\,207\,267.$$

En portant cette valeur dans l'expression générale, il vient

$$E = \frac{1}{3}\,\frac{P C^3}{f I} = \frac{P \times (0{,}504)^3}{3 \times f \times 0{,}000000\,207267}$$

$$= \frac{5 \times 0{,}128024}{0{,}000000621801 \times 0{,}000825}.$$

En simplifiant et effectuant les calculs, on trouve

$$E = 12\,478\,000\,000.$$

Comme à partir de 80 kilog. les flexions ont augmenté plus rapidement que les charges, cette charge de 80 kilog. doit être considérée comme le maximum des charges que l'on peut faire supporter par la barre sans que l'élasticité de cette pièce soit altérée.

Cette charge de 80 kilog. correspond à un allongement par mètre exprimé par la formule

$$i' = \frac{P C v'}{E I},$$

dans laquelle $P = \frac{80}{2} = 40$ kil. $C = 0{,}504,$

$$v' = \frac{b}{2} = 0^{m}.0128,$$

et $$E I = \frac{P C^3}{3 f} = \frac{6401203{,}2}{24750}.$$

En substituant dans la formule, on trouve

$$i' = \frac{P G v'}{E I} = \frac{40 \times 0{,}504 \times 0{,}0128 \times 24750}{6401203{,}2}.$$

En effectuant les calculs, il vient

$$i' = 0^{m},0009976.$$

Cet allongement serait obtenu, en agissant par traction, par une charge directe de

$$R = E I' = 12478000000 \times 0{,}0009976 = 12\,448\,053$$

par mètre carré de section transversale; cette limite revient à $12^{k},45$ par millimètre carré de section.

Le coefficient d'élasticité E du bronze d'aluminium, comparé à celui du bon fer qui est égal à 20 000 000 000 montre que pour le bronze et l'aluminium E est égal à peu près à 1/2 de celui du meilleur fer.

Si l'on compare ce bronze d'aluminium à d'autres alliages, on trouve :

Laiton fondu, 6 450 000 000; le bronze d'aluminium a un coefficient double de celui du laiton pris dans les mêmes conditions, c'est-à-dire fondu en barre.

Bronze de canon fondu, E = 3 200 000 000.

Le nouvel alliage a un coefficient d'élasticité quatre fois plus considérable que le bronze de canon, alliage de cuivre et d'étain.

Enfin, pour la fonte grise à grain fin, le coefficient est égal à 12 000 000 000, nombre qui approche beaucoup du coefficient d'élasticité du bronze d'aluminium.

En résumé, cet alliage résiste donc à la flexion, aussi bien que la fonte, et beaucoup mieux que le bronze ordinaire et le laiton, dans les mêmes conditions. Enfin, il est moitié moins résistant que le meilleur fer en barre, bien que ce dernier métal ait acquis par le forgeage et par l'étirage un grand degré d'homogénéité, et que la barre d'aluminium, sur laquelle les expériences ont été faites, était simplement coulée et essayée à l'état brut.

Enfin, si l'on se rapporte à la détermination que nous avons faite sur une barre d'aluminium, on verra que le coefficient de l'alliage est double de celui de ce métal à l'état de pureté.

Dans quelques essais préparatoires, nous avions obtenu un chiffre notablement inférieur; mais M. Sainte-Claire Deville a bien voulu soumettre à l'analyse la première barre sur laquelle nous avions expérimenté, et a reconnu qu'il s'y était introduit une notable proportion de silicium et de fer, à laquelle on doit attribuer ce défaut de résistance accidentelle.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 10 janvier 1863.

Vu : Général MORIN. H. TRESCA.

DE L'EMPLOI DU SEL EN AGRICULTURE

Considéré sous le rapport administratif,

Par Auguste HOUZEAU.

Dans l'emploi du sel en agriculture, les règlements ayant établi une distinction entre les sels neufs, c'est-à-dire les substances salines qui n'ont encore servi à aucun usage, et les sels immondes, ceux qui se trouvent être souillés des impuretés apportées par les matières animales avec lesquelles ils ont été incorporés, notre travail traitera de ces deux sortes de sels.

SELS IMMONDES.

Aux termes d'une circulaire de l'administration des douanes, du 11 septembre 1849, les résidus de la salaison ou de la préparation des poissons de mer, tels que saumures, sels de coussins et autres sels immondes, peuvent être employés en franchise pour les besoins de l'agriculture, mais seulement après avoir été dénaturés par l'un des mélanges ci-après :

1er *mélange.* —	Sels impurs ou saumures. . . .	2 parties.
—	Matières fécales.	2 —

Plus, une quantité indéterminée de terre ou de fumier.

2e *mélange.* —	Sels impurs ou saumures. . . .	4 parties.
—	Fumier humide.	3 —
—	Terre	5 —

3e *mélange.* —	Sels impurs et saumures. . . .	4 parties.
—	Poudrette ou noir animal provenant des raffineries de sucre.	8 —

De plus, sur la réclamation de l'un des principaux intéressés,

le comité consultatif des arts et manufactures a émis l'avis que les sels de coussins, destinés à l'alimentation du bétail, pourraient être livrés également en franchise sous l'une des deux formes qui suivent, et sous la condition expresse qu'ils seraient préalablement pulvérisés et mélangés, en présence d'un employé de l'administration, soit sur le lieu même de l'extraction, ainsi que l'ordonnait le premier règlement, soit par tolérance dans la ferme même.

1er mélange. —	Sels impurs.	100 kil.
—	Son.	100 —
2e mélange. —	Sels impurs.	65 —
—	Tourteaux.	35 —

Il serait utile, pour ce qui concerne l'emploi des sels de coussins dans l'alimentation du bétail, que ce qui n'est qu'une tolérance pour la dénaturation du sel à domicile, devienne un *droit* pour le cultivateur, et que, de plus, ce dernier ait le choix de préférer pour ce mélange telle ou telle autre substance alimentaire que l'état des récoltes ou les spéculations agricoles pourront lui désigner, mais aussi dans des proportions qui ne puissent pas permettre, au préjudice du Trésor, une révivification ultérieure du sel.

D'un autre côté, quand on considère la composition des mélanges destinés à l'amendement des terres, on aperçoit bien vite que ces mélanges ont l'inconvénient d'exiger l'emploi d'une proportion trop considérable de substance dénaturante, alors surtout que la franchise n'a pour résultat qu'une bonification de 10 francs sur les droits. En outre, les besoins de l'agriculture réclament que les matières employées pour dénaturer les sels ne soient pas restreintes à deux ou trois substances, mais qu'elles puissent être choisies parmi celles que le voisinage de quelques industriels ou toute autre ressource particulière à la ferme tiennent à la disposition du cultivateur.

Dans ce travail, on a divisé en deux groupes les agents de fertilité les plus répandus, et ceux qui pourront être substitués, selon la volonté du fermier, aux substances exigées jusqu'à ce jour par l'administration.

Substances dénaturantes pouvant entrer dans la composition des mélanges destinés à l'amendement des terres.

PREMIER GROUPE.

Poudrette. Marcs de colle.
Engrais flamand.
Engrais vert.
Matières fécales non desséchées.
Chair musculaire en poudre.
Guano.

SECOND GROUPE.

Noir animal.
Tourteaux en général.
Sang coagulé en poudre.
Colombine fumier.
Eaux ammoniacales des usines à gaz.
Chaux ordinaire en poudre.
Chaux ordinaire des usines à gaz.
Cendres de chaux des chaufourniers.
Cendres de houille.
Suie de bois.
Suie de charbon de terre.
Poudre d'os.
Plâtre cuit, en poudre.
Cendres de bois lessivées, appelées charrées.
Phosphate de chaux en poudre, appelé quelquefois coprolithe.

Enfin, il y aurait lieu d'autoriser l'emploi des sels immondes comme engrais, en franchise, en les dénaturant au moyen de certains engrais liquides lorsqu'on voudrait les répandre en arrosement, soit sur les plantes en pleine végétation, soit sur le sol prêt à les recevoir.

Dans ce dernier cas, la dénaturation pourrait, à ce qu'il nous semble, avoir lieu dans du purin de fumier dont la densité est de 1 à 2° de l'aréomètre de Baumé; dans des urines d'animaux quelconques ayant une densité qui, selon l'espèce, peut varier de 3 à 5° de l'aréomètre; dans les eaux ammoniacales du gaz d'une densité de 4° environ. La dissolution serait faite à un état de concentration suffisant pour que l'extraction du sel par évaporation ou par tout autre moyen ne fût pas possible.

SELS NEUFS.

Les sels neufs peuvent être livrés à l'agriculture avec un simple droit de 5 francs pour 100 kil., au lieu de 10 francs, chiffre auquel a été réduit l'impôt par la loi du 28 décembre 1848. Mais pour que l'agriculture puisse jouir de cette immunité, diverses formalités sont exigées. Il faut entre autres que les sels neufs, après avoir été pulvérisés à l'entrepôt même, aux frais de l'acheteur, soient ensuite transportés dans un dépôt où les mélanges prescrits devront être opérés.

Il y a pour les sels neufs, destinés à l'alimentation des bestiaux, deux natures de mélanges :

1er *mélange.* — 5 kil. de sel.
— 5 litres eau.
— 10 kil. ou 2 hectolitres de son.

2e *mélange.* — 5 kil. sel.
— 5 litres eau.
— 40 kil. son.
— 4 kil. tourteaux.

Lorsqu'il n'y a pas, dans la circonscription, de dépôt spécial pour effectuer les mélanges, ils doivent avoir lieu avant la sortie des sels de l'entrepôt d'où ils sont extraits.

Les exigences résultant pour l'agriculture de ces formalités, les frais que lui occasionne le transport du mélange, alors surtout qu'il ne s'agit plus pour lui que de jouir d'une modération de 5 francs sur 10 francs, soit de 50 p. 100 du droit, tandis qu'au moment où ont été prescrits les mélanges, la modération était de 25 francs sur 30, soit de 83 p. 100, sont autant d'obstacles qui l'empêchent le plus souvent de profiter de l'immunité qui lui est accordée.

Quelques chiffres démontreront l'impossibilité, pour le cultivateur, de faire usage des sels neufs en se conformant aux obligations qui lui sont imposées pour jouir de la modération des droits.

On évalue à 120 grammes par tête de gros bétail la quantité de sel qu'il peut être utile de faire entrer comme condiment dans l'alimentation. On a donc, pour une exploitation moyenne de 50 hectares, entretenant au moins vingt-cinq têtes de gros bétail, une consommation de 3 kil. de sel par jour, soit par an 1095 kilos.

	fr. c.
Ces 1095 kil. de sel coûtaient, comme droit, avant la loi de 1848.	328 50
La modération résultant de l'ordonnance de 1846 réduisant ce droit à.	54 75
Il y avait au profit de l'agriculteur un avantage annuel de.	273 75

Sous l'empire de la loi de 1848, les 1095 kil. de sel ne coûteraient plus de droit que.	109 50
La modération ramenant ce droit à.	54 75
L'avantage pour le cultivateur d'une ferme de 50 hectares n'est plus que de.	54 75

Il n'y a donc rien de surprenant à ce que l'usage du sel en agriculture n'ait pas pris une extension plus considérable, en présence tout à la fois d'un avantage aussi restreint et des inconvénients résultant des formalités à remplir et des divers frais à payer indirectement.

En effet, prenant toujours pour terme de comparaison une exploitation de 50 hectares consommant 1095 kil. de sel par an, on voit que les mélanges qui devront être effectués à l'entrepôt exigeront 8760 kil. de son et 1095 kil. d'eau en appliquant le mélange le plus simple, soit un total de 9 855 kil. de matières ajoutées.

D'un autre côté, on ne peut admettre que le son ainsi additionné dans la proportion de 1/8 en poids puisse se conserver au delà de quinze jours. Il faudra donc faire, pour le transport du mélange du lieu de l'entrepôt à celui de l'exploitation agricole, vingt-quatre voyages représentant chacun 410 kil. de son et d'eau, sans tenir compte du poids du sel qui serait à transporter dans tous les cas.

Or chaque voyage nécessite :

	fr. c.
Une journée d'homme qu'on ne peut évaluer à moins de.	2 50
Une journée de cheval.	3 »
Soit par transport une dépense de.	5 50

Sans compter les frais de pulvérisation, de manutention et d'acquit-à-caution. En faisant abstraction de ces divers frais, les vingt-quatre voyages représentent donc un débours de 132 f. »

Et comme il n'est réalisé sur le droit qu'une économie de.	54 75
la différence se traduit en réalité pour l'agriculteur par une perte minimum de.	77 25

A de telles conditions, on comprend que le fermier ne songe

pas à jouir de la modération de droit qui a été établie en sa faveur.

Outre ces divers inconvénients, il en existe encore un autre très-grave, c'est celui qui résulte de l'obligation d'opérer le mélange sur place. Ce mélange, en effet, nécessite la présence du chef de l'exploitation en personne, car il s'agit de l'effectuer avec des matières alimentaires, dont il ne peut guère confier l'achat à ses subordonnés; puis il entraîne, comme on l'a vu, à des frais de transport qui seraient sans importance s'il était au contraire toléré sur l'exploitation agricole même. Cette autorisation faciliterait encore des approvisionnements de sels bien plus importants.

Pour ces diverses raisons, il est donc à souhaiter que le mélange du sel ne soit exigé que sur le lieu de consommation. Mais alors il serait expédié de l'entrepôt dans des sacs plombés, après avoir subi la pulvérisation, et il serait accompagné d'un acquit-à-caution dont la décharge ne serait donnée par l'administration des contributions indirectes qu'après qu'un de ses agents, mandé à cet effet, aurait assisté à la dénaturation prescrite. Cette dénaturation ne pourrait avoir lieu sur moins de 100 kil. à la fois. On insiste sur ce chiffre parce qu'il représente la moyenne des besoins d'une ferme pendant un mois, et qu'une plus forte quantité de substances présenterait des chances de fermentation et d'avaries plus grandes. Il serait encore rationnel de réduire les substances entrant dans le mélange à la quantité strictement nécessaire pour que l'emploi de ces sels, après révivification, fût rendu impossible, et que cette révivification, dans le cas même où elle serait matériellement praticable, ne présentât aucun bénéfice au fraudeur.

Or, si sous l'empire de l'impôt fixé à 30 francs il a paru nécessaire de porter à 40 kil. la proportion de son nécessaire pour dénaturer 5 kil. de sel devant jouir d'une modération de droits de 25 p. 100, il semble qu'aujourd'hui que la modération de droits n'offre plus qu'un avantage de 5 francs par 100 kil., la proportion de la matière à ajouter au sel pourrait sans inconvénient être réduite dans la proportion de 25 à 5, c'est-à-dire de 40 kil. à 8 kil. de son ou de toute autre substance remplissant le même but.

En effet, si on admet que pour garantir de la fraude il suffisait d'ajouter au sel 40 kil. de son, représentant une valeur de 6 fr.

40 c., alors que la modération de droit était de 1 fr. 25 c. pour 5 kil. de sel entrant dans le mélange, on peut trouver suffisante aujourd'hui l'addition de 8 à 10 kil. de son, représentant une valeur de 1 fr. 28 c. à 1 fr. 60 c. pour une modération de droit qui ne s'élève plus qu'à 25 centimes.

Enfin il semblerait possible, sans qu'il puisse en résulter aucun préjudice pour le Trésor, d'autoriser que le son pût être remplacé dans les mélanges par toute autre substance alimentaire, se prêtant à un mélange assez complet pour que la séparation ne puisse être faite par un simple tamisage ni par une révivification ou une dissolution présentant quelque avantage.

Voici, d'ailleurs, une liste de ces principales substances alimentaires, employées pour la nourriture du bétail, et qui pourraient être substituées au son, selon le choix de l'agriculture.

Liste *des substances alimentaires employées pour la nourriture du bétail.*

Son.
Farine d'orge.
Tourteau de lin.
Tourteau de colza.
Tourteaux divers.
Pulpe de distilleries.
Pulpe de raffineries et de féculeries.
Drèches.
Paille de van.

Une autre application des sels neufs, qui répondrait également à des besoins réels, consisterait à permettre leur mélange avec les fourrages, soit à l'état de sels pulvérisés, soit à l'état d'une dissolution saline.

Dans le premier cas, c'est-à-dire lorsque le sel serait employé lors de la confection des meules, le sel en grains serait mélangé à la dose de 1 kil. de sel par 100 kil. de fourrage, et répandu uniformément sur chaque couche ou lit entrant dans la composition du meulon ou de la meule.

Dans le second cas, c'est-à-dire lorsque le sel serait employé en dissolution pour l'amélioration de fourrages préalablement engrangés, on le répandrait sur ceux-ci à la dose d'un litre de

dissolution par botte de fourrage d'environ 5 kil. Cette dissolution marquerait 6°, ce qui correspond à 50 grammes de sel par litre.

Enfin, il semble qu'il serait très-possible d'admettre en franchise l'emploi des sels neufs pour l'amendement des terres, du moment où ils auront été dénaturés. Dans ce cas, les mélanges pourraient être les mêmes que ceux qui ont été indiqués pour les sels immondes.

CONCLUSIONS.

En résumé, et pour les motifs qui précèdent, on voit combien il serait utile d'adopter les propositions suivantes :

1° Que la dénaturation des sels, c'est-à-dire leur mélange avec diverses substances, s'opère sous la surveillance de l'administration dans la ferme du cultivateur, et non sur le lieu de l'extraction, comme l'exigent les règlements actuels.

2° Que la franchise accordée aux sels immondes soit *étendue* aux sels neufs destinés à l'amendement des terres, à cause de la difficulté de se procurer les sels immondes en dehors des ports de mer;

3° Que les mélanges rendus obligatoires jusqu'à ce jour soient remplacés par les suivants :

SELS IMMONDES.

Mélanges pour l'amendement des terres.

1er mélange. — Sel.	1	partie en poids.	
Matières du 1er groupe (page 425). . .	1	—	—
2e mélange. — Sel.	1	—	—
Matières du 2e groupe (page 425) . . .	2	—	—

SELS NEUFS.

Mélanges pour l'amendement des terres.

1er mélange. — Sel.	1	partie en poids.	
— Matières du 1er groupe.	2	—	—
2e mélange. — Sel.	1	—	—
— Matières du 2e groupe.	4	—	—

SELS NEUFS.

Mélanges pour l'alimentation du bétail.

1er *mélange.* —	Sel.	5 parties.
—	Eau	1 —
—	Pulpes humides de distillerie, de féculerie et de raffinerie. . . .	40 —

ou :

	Sel.	5 —
	Eau.	5 —
	Pulpes sèches.	40 —
2e *mélange.* —	Sel	5 kil.
—	Eau.	1 —
—	L'une des substances alimentaires ci-après.	10 kil.

LISTE *des substances alimentaires ordinairement à la portée du cultivateur pouvant entrer dans le 2e mélange pour l'alimentation du bétail.*

Son.
Farine d'orge.
Tourteau de lin et de colza.
Drèche.
Paille de van.

4° Que les mélanges précédents ne puissent pas être faits sur moins de 100 kil. de sel, quantité qui correspond à la moyenne des besoins mensuels d'une ferme de 50 hectares; car une plus forte proportion de sel dénaturé, en augmentant la durée de la consommation, pourrait alors présenter le grave inconvénient de ne pas éviter l'altération des substances végétales, par l'eau ajoutée lors de la confection des mélanges.

5° Que le cultivateur soit également autorisé à mêler directement le sel avec les fourrages secs au moment de leur entrée dans la grange, à la dose de 1 kil. de sel par 190 kil. de fourrage. Ce sel, toujours en présence d'un employé, serait répandu uniformément dans chaque couche de la substance alimentaire entrant dans la composition de la meule. Une autorisation semblable se-

rait également accordée au fermier pour l'emploi du sel liquide en aspersion sur les fourrages avariés, auxquels il communique une saveur agréable qui facilite beaucoup sa consommation par le bétail. A cet usage, le sel liquide serait employé à la dose d'un litre marquant 6° à l'aréomètre de Baumé (soit 50 gr. de sel par litre), par botte de fourrage du poids de 5 à 6 kil.

On ne peut malheureusement nier aussi combien, malgré les améliorations considérables apportées successivement dans l'application des règlements officiels, l'emploi des sels dans l'alimentation du bétail, comme dans l'amendement des terres, se trouve en quelque sorte borné, quand on le compare aux heureux résultats qu'on en retire chaque fois qu'on est à portée d'en faire usage. Il est difficile de douter que si, dans les circonstances actuelles, la consommation du sel est aussi limitée, cela tient autant aux restrictions apportées dans son application qu'aux formalités multiples à remplir, et qui consistent, comme on le sait, dans l'obligation pour le fermier de transporter sur les lieux de l'extraction du sel, souvent à de grandes distances de ses terres, et toujours à des prix onéreux, des quantités de substances dénaturantes qu'il se procure parfois difficilement et dont l'emploi spécial ne lui est imposé souvent par aucun de ses besoins.

L'administration, en approuvant les conclusions précédentes qui augmentent le nombre des applications du sel et en diminuant celui des formalités, satisferait donc pleinement aux justes exigences de l'agriculture en même temps qu'elle mettrait ses actes en harmonie avec ses bonnes intentions.

EXPÉRIENCES

SUR LES

LIMONS CHARRIÉS PAR LES COURS D'EAU,

PAR M. HERVÉ MANGON.

« De semblables recherches (sur les limons), faites sur
« les différentes rivières, auraient un grand degré d'uti-
« lité en montrant ce que l'on peut espérer des retenues
« de leurs eaux pour combler les terrains bas et les amé-
« liorer. »

(DE GASPARIN, *Agriculture*, t. Ier, p. 216.)

Objet des recherches. — J'ai cherché à montrer, dans un autre travail[1], la valeur et le rôle en agriculture des matières dissoutes dans les eaux naturelles. J'essayerai, dans ces nouvelles recherches, de donner des indications analogues sur les matières solides que les fleuves et les rivières tiennent en suspension dans leurs eaux.

La fertilité proverbiale des limons déposés chaque année par le Nil sur les plaines de l'Égypte, et les bénéfices des opérations de colmatage ont appelé, de tout temps, l'attention des agronomes sur les avantages que l'agriculture peut attendre d'un judicieux emploi des matières solides entraînées par les eaux. D'un autre côté, on n'a pas été sans remarquer que les inondations désastreuses qui ravagent à intervalles irréguliers nos contrées du centre et du midi, ne sont pas toujours sans compensation. Il existe de nombreux exemples d'une fertilisation exceptionnelle des sols

1. *Expériences sur l'emploi des eaux dans les irrigations sous différents climats.* Paris, Dunod, 1863, et Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, tome LVI, page 292.

inondés produite par le limon que le fleuve y laisse en se retirant.

La fertilisation des terres arables, et la réduction des crues des cours d'eau torrentiels, c'est-à-dire la solution du problème des inondations, dont se préoccupe si vivement le public et l'administration des ponts et chaussées, sont donc deux questions liées entre elles de la manière la plus intime. Aussi ne doit-on pas s'étonner de voir les agronomes et les ingénieurs, de Gasparin et Polonceau, pour ne citer que les plus illustres, signaler à l'envi l'emploi des limons comme le seul moyen de faire tourner au profit de l'agriculture et de la richesse publique l'action si redoutée des torrents et des fleuves les plus dangereux.

Ces idées si simples, et si souvent reproduites, n'ont reçu cependant, jusqu'à présent dans notre pays, que des applications assez bornées. Lorsqu'on cherche à les approfondir et à préciser leur importance, on reconnaît malheureusement qu'il n'a été fait sur la quantité et la nature des limons de nos cours d'eau que des observations peu nombreuses et presque toujours isolées; en un mot, que les données numériques nécessaires à des études sérieuses et détaillées font presque complétement défaut aux agriculteurs aussi bien qu'aux ingénieurs. J'ai cherché à combler en partie cette lacune regrettable en apportant quelques chiffres positifs dans une discussion où l'on ne peut avancer avec sûreté sans des données préalables parfaitement certaines.

C'est ainsi que j'ai été conduit à faire à la fois deux séries d'expériences, l'une ayant pour objet l'étude de l'emploi des eaux claires dans les irrigations, l'autre l'emploi des eaux limoneuses au colmatage et à la fertilisation des terres.

Les troubles dont il s'agissait d'apprécier l'utilité et l'importance varient d'un jour à l'autre, dans leur proportion par mètre cube d'eau, dans leur composition, dans leur quantité absolue, subordonnée elle-même au chiffre du débit[1]. Pour obtenir des

1. Le dosage quotidien des limons entraînés par un cours d'eau permet de reconnaître s'il exhausse ou s'il affouille son lit entre deux points déterminés; question souvent fort obscure et dont les ingénieurs comprendront tout l'intérêt pratique. On conçoit, en effet, que le cours d'eau est fixé, qu'il comble, ou qu'il corrode son lit, selon que les troubles passant à la station d'aval sont égaux, inférieurs ou supérieurs à ceux qui passent à la station d'amont, augmentés du produit des troubles des affluents intermédiaires.

résultats exacts dans leur ensemble, il faut donc organiser des *séries continues* d'observations et déterminer, dans chaque expérience : 1° la quantité de limon déposée par un même volume d'eau; 2° la nature de ses éléments minéraux ou organiques; 3° le débit du cours d'eau objet de l'expérience, au moment même de la prise de l'échantillon.

Les expériences ainsi conduites exigent beaucoup de temps et des moyens d'observation difficiles à réunir. Aussi n'ai-je encore étendu mes études qu'à la Durance, à un canal d'irrigation, à la Loire et à quelques-uns de ses affluents, bien que je poursuive ces recherches depuis 1858.

Les résultats de cette longue série d'études font l'objet de ce travail. Sans qu'il soit nécessaire de s'arrêter à l'examen d'applications particulières, ils établiront, je l'espère, d'une manière plus précise et plus positive qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, les avantages que l'agriculture peut attendre de l'emploi général des limons charriés par les eaux, et la nécessité de tenir compte de la valeur de ces précieuses matières dans les recherches relatives au problème des inondations.

I. — La Durance.

Mode d'observation.—La Durance, dont je m'occuperai d'abord, se présentait naturellement à mon choix pour bien des motifs. Les canaux de Perthuis, de Crillon, de Craponne et plusieurs autres, au nombre de dix-huit en tout, lui empruntent à l'étiage près de 69 mètres cubes d'eau par seconde, de sorte qu'il ne reste plus que 28 mètres cubes, même en tenant compte des reprises, pour les canaux d'arrosage restant à exécuter. C'est pour ainsi dire la seule rivière de France dont les eaux soient utilisées sur une grande échelle pour les irrigations; elle offre à chaque pas les enseignements pratiques les plus utiles et les plus variés.

Les observations ont été faites en tête du canal de Carpentras, à Mérindol. Chaque jour, à midi, on puisait de l'eau dans la rivière à l'aide d'une mesure en fer-blanc d'une capacité de litre 1,336. Le liquide était immédiatement versé dans un grand vase en

terre cuite vernie, fabriqué exprès, à formes intérieures arrondies et garni à une certaine hauteur d'un robinet. A la fin du mois on laissait reposer, on décantait et on réunissait dans un flacon de verre le dépôt boueux qui m'était expédié. Un second vase semblable au premier recevait les échantillons journaliers pendant les opérations que l'on vient d'indiquer.

Le liquide boueux, à son arrivée au laboratoire, était filtré à travers deux filtres en papier placés l'un dans l'autre. Ces deux filtres, avant leur emploi, étaient ajustés de manière à se faire équilibre dans les deux plateaux d'une balance d'analyse.

Le produit de la filtration était desséché dans le vide à la température ordinaire, et quand le poids ne variait plus d'un jour à l'autre, on plaçait le filtre intérieur dans le plateau de la balance où il avait été taré, et le filtre extérieur avec son contenu dans l'autre plateau. On obtenait ainsi très-exactement le poids de la vase recueillie pendant un mois d'observation.

Il eût été préférable de recueillir chaque jour un volume d'eau plus considérable et de déterminer jour par jour la proportion et la composition des matières solides en suspension, mais les moyens dont je disposais ne m'ont point permis d'opérer ainsi. Une discussion minutieuse des observations montre d'ailleurs que la méthode adoptée n'a pu produire qu'une petite erreur *en moins* sur la proportion des matières solides entraînées. Les chiffres auxquels nous arriverons, bien loin d'être exagérés, comme leur grandeur pourrait le faire supposer, sont donc au contraire un peu au-dessous de la vérité, ce dont il est bon d'être assuré dans des recherches de cette nature.

Au moment de la prise de l'échantillon, à midi, on observait et on notait l'état du ciel, la température de l'air et celle du liquide, la couleur de l'eau[1] et enfin la hauteur de la rivière à l'échelle de Mérindol.

Jaugeages. — Les jaugeages de la Durance, de ses affluents et des canaux qu'elle alimente, ont été, depuis une quinzaine d'années, l'objet de nombreux travaux de la part de MM. les

1. Les troubles gris viennent, dit-on, des premières montagnes des Alpes ; les troubles blancs des points plus élevés, et les troubles jaunes des terrains ocreux des environs de Perthuis.

Ingénieurs chargés du service de cette rivière[1]. Ces opérations présentent de grandes difficultés et laissent toujours une certaine incertitude, par suite des changements continuels des formes du lit de la rivière par les déplacements des alluvions à chaque crue un peu forte.

Les calculs de débits réunis ici ont été déduits des opérations de jaugeage dont on vient de parler de la manière suivante[2].

La comparaison des hauteurs d'eau observées les mêmes jours aux échelles de Mirabeau et de Mérindol a permis de dresser une première table donnant les hauteurs de l'échelle de Mérindol correspondantes à celle de Mirabeau.

D'un autre côté, un grand nombre de mesures de débits de la Durance ont été faites à diverses hauteurs de l'échelle de Mirabeau. A l'aide de la table précédente et de ces jaugeages, il a été possible de dresser une table, ou plutôt de tracer une courbe des débits de la Durance à Mirabeau, répondant aux diverses hauteurs observées à Mérindol. Enfin, en retranchant des débits à Mirabeau les prises, variables avec les saisons, des canaux s'ouvrant entre Mirabeau et Mérindol, on a pu obtenir avec l'exactitude que comportent des mesures de cette nature, les débits de la Durance à Mérindol pour chaque hauteur d'eau observée à l'échelle de cette localité.

Sans entrer dans de plus grands détails sur ces calculs fort longs et très-laborieux, on conçoit comment on a pu évaluer jour par jour les débits de la Durance à l'aide de l'échelle de Mérindol. Les observations et les calculs journaliers, réunis dans le tableau n° 1 du Mémoire, seraient trop longs pour trouver place ici.

Poids et volume des limons entraînés. — Les débits mensuels, calculés comme on vient de le dire et rapprochés des résultats des pesées des limons recueillis dans les périodes correspondantes, permettent de dresser le tableau récapitulatif suivant :

1. Ces travaux ont été dirigés par MM. les ingénieurs ordinaires Delestrac, de Gabriac, Surell et Conte, sous les ordres de MM. les ingénieurs en chef Perrier, de Montricher, Gendarme de Bevotte et Auriol.

2. Je dois à l'obligeante amitié de M. Conte la communication des éléments de ces calculs. Je lui dois aussi d'avoir pu organiser les observations d'une manière régulière.

PÉRIODES des observations.	DÉBITS correspondants.	NOMBRE des jours d'observation.	VOLUME de l'eau recueillie.	POIDS du limon recueilli.	POIDS du limon par mètre cube.	POIDS du limon entraîné pendant la période.	VOLUME du limon en mètres cubes de 1600 kil.
	m. cub.		lit.	gr.	gr.	kil.	m. cub.
Du 1er novembre 1859 au 29 février 1860.	3.220.387.200	121	161.656	54.738	338.610	1.090.455.310	681.534
Du 1er au 31 mars 1860................	626.400.000	31	41.416	12.418	299.835	187.816.644	117.385
Du 1er au 30 avril 1860................	1.072.051.200	30	40.080	32.900	820.850	879.993.228	549.995
Du 1er au 31 mai 1860.................	1.973.462.400	31	41.416	70.498	1.702.192	3.359.211.910	2.099.507
Du 1er au 30 juin 1860................	1.663.988.800	30	40.080	80.481	2.008.008	3.351.342.862	2.094.589
Du 1er au 31 juillet 1860..............	689.040.000	31	41.416	16.613	401.125	276.391.170	172.744
Du 1er au 31 août 1860	341.280.000	31	41.416	8.254	199.291	68.014.032	42.508
Du 1er au 30 septembre 1860...........	1.426.204.800	30	40.080	145.605	3.632.859	5.181.200.944	3.238.250
Du 1er au 31 octobre 1860.....	1.171.065.600	31	41.416	117.730	2.842.621	3.328.895.667	2.080.559
Totaux............................	12.188.880.000	366				17.723.321.767	11.077.071

La moyenne mensuelle du poids des matières solides entraînées par mètre cube d'eau varie de 199g.291 à 3632g.859. La moyenne annuelle est de 1454 gr. par mètre cube[1].

Composition des limons. — Avant d'aller plus loin, il convient de faire connaître la composition de ces limons. Les résultats en centièmes des analyses sont résumés dans le tableau suivant :

	1er nov. 1859 au 29 févr. 1860	Mars 1860	Avril 1860	Mai 1860	Juin 1860	Juillet 1860	Août 1860	Sept. 1860	Octobre 1860
…sidu argilo-siliceux insoluble dans les acides faibles.	46.050	49.100	45.550	45.150	48.400	40.550	44.300	51.600	49.550
…umine et peroxyde de fer.	4.250	4.850	4.850	5.450	5.000	5.200	4.300	5.650	5.150
…rbonate de chaux.....	43.300	39.640	42.410	43.030	39.730	48.120	43.830	36.250	38.930
…ote.....	0.083	0.128	0.10	0.071	0.081	0.072	0.085	0.084	0.072
…rbone....	0.472	0.658	0.486	0.646	0.695	0.493	0.530	0.486	0.470
… combinée … produits … dosés...	5.845	5.624	6.600	5.653	6.094	5.565	6.955	5.930	5.828
	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

L'expérience apprend que ces limons forment les dépôts les plus fertiles, et on n'insistera pas sur leur composition. On remarquera seulement que le maximum de la proportion de carbonate de chaux paraît être en juillet, et que la richesse en azote et en carbone est d'autant moindre, comme on pouvait le prévoir, que la quantité des troubles charriés est plus considérable.

Poids des éléments entraînés. — En combinant les chiffres des deux tableaux précédents, on forme le suivant, qui fait connaître le poids des principaux éléments entraînés par la Durance pendant la durée des observations.

1. La richesse maximum mensuelle se rapproche beaucoup du maximum absolu, 4179g par mètre cube, cité par quelques auteurs. Au contraire, notre moyenne annuelle, calculée comme elle doit l'être, en divisant le poids total du limon transporté par le débit total, est beaucoup plus forte que la moyenne ordinairement indiquée, qui a dû être obtenue en divisant les nombres déduits de quelques observations isolées par le nombre de ces observations, sans remarquer qu'aux troubles abondants répondent les grands débits.

PÉRIODES des OBSERVATIONS.	POIDS du limon entraîné pendant la période.	RÉSIDU argilo-siliceux sur 100	RÉSIDU argilo-siliceux sur la totalité.	ALUMINE et peroxyde de fer sur 100	ALUMINE et peroxyde de fer sur la totalité.	CARBONATE de chaux sur 100	CARBONATE de chaux sur la totalité.	AZOTE sur 100	AZOTE sur la totalité.	CARBONE sur 100	CARBONE sur la totalité.	EAU COMBINÉE et produits non dosés sur 100	EAU COMBINÉE et produits non dosés sur la totalité.
	k.		k.		k.		k.		k.		k.		k.
Du 1er nov. 1859 au 29 févr. 1860.	1090455310	46.05	502154670.2	4.25	46344350.7	43.30	472167149.2	0.083	905077.9	0.472	5146949.1	5.845	63737112.9
Du 1er au 31 mars 1860	187816644	49.10	92217972.2	4.85	9109107.2	39.64	74450517.7	0.128	240405.3	0.658	1235833.5	5.624	10562808.1
Du 1er au 30 avril 1860	879993228	45.55	400836915.3	4.85	42679671.6	42.41	373205128.0	0.104	915193.0	0.486	4276767.1	6.600	58079553.0
Du 1er au 31 mai 1860	3359211910	45.15	1516684177.4	5.45	183077049.1	43.03	1445468884.9	0.071	2385040.4	0.646	21700508.9	5.653	189896249.3
Du 1er au 30 juin 1860	3351342862	48.40	1622049945.2	5.00	167567143.1	39.73	1331488519.1	0.081	2714587.7	0.695	23291832.9	6.094	204230834.0
Du 1er au 31 juillet 1860	276391170	40.55	112076619.4	5.20	14372340.8	48.12	132999431.0	0.072	199001.6	0.493	1362608.5	5.565	15381168.6
Du 1er au 31 août 1860	68014032	44.30	30130216.2	4.30	2924603.4	43.83	29810550.2	0.085	57811.9	0.530	360474.4	6.955	4730375.9
Du 1er au 30 septembre 1860....	5181200944	51.60	2673499687.1	5.65	292737853.3	36.25	1878185342.2	0.084	4352208.8	0.486	25180636.6	5.930	307245216.0
Du 1er au 31 octobre 1860....	3328895667	49.55	1649467803.0	5.15	171438126.8	38.93	1295939083.2	0.072	2396804.9	0.470	15645809.6	5.828	194008039.5
Totaux	17723321767		8599118006.0		930250246.0		7083714605.5		14166131.5		98201420.6		1047871357.3

Remarques sur le volume du limon. — Le premier résultat qu'il y ait lieu de signaler dans le premier des trois tableaux qui précèdent a trait à l'importance du poids et du volume du limon entraîné. Pendant l'année des observations, qui a été plutôt au-dessous qu'au-dessus de la moyenne, sous le rapport des crues, le poids total des limons charriés par la Durance devant Mérindol, du 1er novembre 1859 au 31 octobre 1860, pour un débit total de 12,188,880,000 mètres cubes d'eau, a été de 17,723,321 tonnes de 1,000 kil.

En admettant que ces limons déposés sur le sol pèsent en moyenne 1,600 kil. le mètre cube, ce qui ne doit pas s'éloigner beaucoup de la réalité, leur volume serait de 11,077,071 mètres cubes.

Un volume équivalent à un cube de 220 mètres de côté environ a donc été enlevé aux terrains supérieurs, et entraîné, sous forme de limon, dans les parties basses du cours de la rivière jusqu'à la mer.

Si ce limon se déposait entièrement sur le sol, il recouvrirait en un an d'une couche de 0m,01 d'épaisseur l'énorme surface de 110,770 hectares. S'il était amené sur la Camargue, il pourrait en combler les marais et la transformer en une plaine des plus fertiles en moins d'un demi-siècle.

Plusieurs des régions les plus riches du département de Vaucluse ont été formées, sans aucun doute, à des époques plus ou moins anciennes par des colmatages naturels de la Durance. Les terres si fertiles des communes de Cheval-Blanc, de Cavaillon, etc., ne doivent leur richesse qu'à une couche de limons, semblables à ceux qui nous occupent, déposée sur des terrains caillouteux d'une date plus ancienne. L'étendue de cette couche de limons est environ de 25,000 hectares. Il faudrait beaucoup plus de sondages que je n'ai pu en faire pour évaluer son épaisseur moyenne et calculer son volume; mais on peut affirmer qu'elle a pu se former en un temps assez court, sans qu'il soit nécessaire d'attribuer à la Durance une puissance de transport supérieure à celle qu'elle possède encore aujourd'hui, et dont nous venons de donner la mesure exacte.

De semblables résultats permettent de se rendre facilement compte de l'action des limons du Nil, qui exhaussent, comme on sait, le sol de l'Égypte environ d'un millimètre par an, et de

la formation des terrains littoraux si étendus de l'embouchure de certains fleuves.

Un dernier rapprochement sera facile à saisir, et fera mieux comprendre encore la véritable signification des chiffres qui précèdent.

On regarde comme très-fertiles, dans le département de Vaucluse, les terres arables qui possèdent $0^m,30$ d'épaisseur de ces précieuses alluvions, ou 3,000 mètres cubes par hectare. Le volume de limon entraîné en une année par la Durance à Mérindol représente donc la terre arable de $\frac{11,077,071^{mc}}{3000} = 3,692$ hectares de ces sols de première qualité, très-supérieurs à la moyenne de nos terres de première classe, ou près des deux centièmes de la surface arable d'un département moyen [1]. En cinquante ans, les eaux de la Durance entraînent donc une quantité de sol arable égale à celle d'un département français.

La désagrégation des parties dénudées du territoire prépare sans cesse ces précieuses alluvions, que les cours d'eau entraînent aujourd'hui sans profit. Il appartient à l'homme de les utiliser à la transformation des plaines arides et caillouteuses qui dominent les cours d'eau limoneux, et au renouvellement continu de la fertilité des terres cultivées. Le relief naturel du sol a suffi pour déterminer le dépôt des limons qui forment aujourd'hui plusieurs de nos plus riches vallées. Imiter ces exemples et ne pas laisser perdre dans la profondeur des mers de tels éléments de richesse et de fertilité n'est point au-dessus des ressources de la science, et la solution du problème des inondations aura fait un grand pas quand les intérêts agricoles y prendront une part plus large [2].

Remarques sur la composition chimique. — La composition chi-

1. Les céréales et les cultures diverses proprement dites occupent en France $13900262 + 3442239 = 17342501$ hectares, ou 201652 hect. par département moyen. Or, $\frac{3692}{201652} = 0,018$.

2. Voir De Gasparin, *Mémoires sur les débordements du Rhône*, comptes rendus de l'Académie des sciences, tome XVIII, page 104. L'auteur, par des considérations d'un ordre différent, arrive à des conclusions semblables à celles qui ressortiraient de ce travail, mais que nous ne pouvons développer en ce moment.

mique des limons donne lieu à des observations d'une autre nature. On a vu, p. 440, que les 17,723,321 tonnes de matières solides entraînées par an par la Durance, à Mérindol, sont formées de 9,529,368 tonnes d'argile, de 7,033,714 tonnes de carbonate de chaux, de 14,166 tonnes d'azote, de 98,201 tonnes de carbone, et enfin de 1,047,871 tonnes d'eau combinée ou matières diverses, le tout réuni dans les conditions les plus favorables à la constitution des terres arables les plus fertiles.

Une seule rivière entraîne donc par an plus de 14,000 tonnes d'azote, à l'état de combinaison le plus convenable au développement de nos plantes cultivées, alors que l'agriculture achète au dehors, au prix des plus grands sacrifices, d'autres matières azotées, et que l'importation du guano, qui fournit à peine cette quantité d'azote chaque année à l'agriculture française, lui coûte une trentaine de millions de francs.

La quantité de carbone contenu dans les limons exige quelques explications.

On admet ordinairement qu'il s'établit dans notre atmosphère un certain équilibre entre le volume d'acide carbonique décomposé par les parties vertes des plantes et l'acide carbonique produit par la respiration des animaux, la combustion lente des matières organiques en décomposition, et surtout la combustion lente du carbone engagé dans la constitution de la terre végétale. Le carbone passerait ainsi de l'acide carbonique gazeux de l'atmosphère à l'état de matières organiques, pour se transformer ensuite de nouveau en acide carbonique destiné à l'alimentation de nouvelles générations de plantes. De sorte que la masse totale de carbone en circulation, pour ainsi dire, entre la terre et l'air pourrait être la même pendant une période de siècles en quelque sorte illimitée.

L'entraînement à la mer de la terre végétale peut apporter de notables changements à cette succession de phénomènes. Il paraît probable, en effet, jusqu'à preuve contraire, que le carbone des limons entraînés dans la profondeur des mers se transforme en acide carbonique beaucoup plus lentement qu'il ne le ferait à la surface du sol. Chaque kilogramme de carbone entraîné avec les limons au fond de la mer se trouve donc soustrait, pour ainsi dire, à la circulation dont on parlait tout à l'heure. Cette action paraît, à la longue, pouvoir diminuer la proportion

d'acide carbonique contenue dans l'atmosphère, si d'autres phénomènes ne compensent pas cet effet.

Les anciens dépôts de houille, de lignite et de tourbe, qui ont immobilisé une portion considérable du carbone circulant autour du globe, ne sont donc pas les seuls représentants de l'acide carbonique qui a passé à travers notre atmosphère. Il faut y ajouter cette matière organique particulière que les fleuves entraînent sous nos yeux avec les limons qu'ils charrient.

Les limons charriés en un an par la Durance, devant Mérindol, contiennent, comme on l'a vu, 98,201 tonnes de carbone; en supposant qu'ils se perdent en totalité dans la profondeur des mers, et qu'ils n'y éprouvent qu'une combustion lente, nulle ou très-faible, ce poids de carbone se trouve enlevé à la terre végétale, et par suite à l'atmosphère. Or, il représente 360,070 ton. d'acide carbonique, ou la quantité de ce gaz contenue dans environ 1,200,000,000 ton. d'air normal, ou enfin dans un prisme d'air de 100 mètres de hauteur, et de 930,232 hectares de superficie. Cette masse d'air est très-notable quand on pense qu'il s'agit d'un seul cours d'eau charriant des limons pendant une seule année.

Comparée à la quantité de carbone fixée par les forêts, la composition des limons de la Durance conduit à un chiffre non moins remarquable. Une forêt en pleine végétation assimile environ 2,000 ton. de carbone par hectare et par an. La Durance entraîne donc en une année autant de carbone que pourrait en fixer dans le même temps une forêt de 49,100 hectares, c'est-à-dire égale en étendue à 3 p. 100 environ de la surface totale du bassin de la Durance, qui est évalué à 1,340,000 hect.

L'action continue d'effets de cette nature et la formation de dépôts de combustibles fossiles suffisent pour expliquer l'appauvrissement en acide carbonique que notre atmosphère paraît avoir subi depuis les anciennes périodes géologiques.

II. — CANAL DE CARPENTRAS.

Emploi des limons. — Après avoir déterminé, avec toute la précision que ce genre d'expérience comporte, la quantité de limons entraînée par la Durance, et la proportion de leurs divers éléments, j'ai cherché à me rendre compte des résultats que donne leur emploi dans la pratique agricole. A cet effet, parmi

les dix-huit canaux alimentés par la Durance, j'ai choisi le canal de Carpentras. On trouvera, dans cette seconde section de notre travail, des renseignements pratiques sur les applications des limons à l'amélioration des terres en culture qui n'auraient pu trouver place dans ce qui précède.

Mode d'observation.— Les observations ont été faites à l'échelle de Taillades à 16k 5 de la prise d'eau de Mérindol. Elles ont été conduites de la même manière que celles de la Durance, si ce n'est que la capacité du vase servant aux puisages journaliers était de 1l 327.

Jaugeage.—Le plafond du canal, au point considéré, a 5m de largeur. Les talus sont inclinés à 45°. La pente est de 0,0004. La hauteur h observée à l'échelle donne la profondeur de l'eau. M. Conte a vérifié expérimentalement que le débit D du canal, dans ces conditions, est donné avec assez d'exactitude par la formule

$$D = 0,86\,(5+h)\,h\sqrt{h}.$$

A l'aide de cette formule et du cahier des observations journalières on a pu former le tableau n° 2 que son étendue oblige à supprimer dans cet extrait. Ce tableau est semblable à celui qui a été dressé pour la Durance. Il donne jour par jour la hauteur de l'eau, le débit du canal, la température de l'air et de l'eau, la couleur du liquide et l'état du ciel.

Il semble que les limons contenus dans les eaux du canal de Carpentras, alimenté par la Durance à Mérindol, devraient éprouver les mêmes variations que ceux de cette rivière. Mais il n'en est pas généralement ainsi. La série d'observations que nous reproduisons présente sous ce rapport beaucoup d'anomalies, faciles, du reste, à expliquer, en remarquant qu'il s'agit d'un canal neuf, dont le régime n'est pas régulier, où les prises varient d'un jour à l'autre, où les dépôts se forment et se détruisent à chaque instant, suivant le débit du canal en chaque point, débit qui varie et avec le volume introduit et avec le volume dépensé. C'est ainsi que pendant les mois qui ont suivi le chômage, l'eau du canal a entraîné moins de troubles que l'eau de la Durance, tandis que pendant les derniers mois des observations, par suite des efforts faits pour nettoyer le canal avant l'hiver, elle a été beaucoup plus chargée que celle de la rivière elle-même.

Quoi qu'il en soit, les chiffres consignés dans le tableau n° 2 dont on a déjà parlé, combinés avec les pesées faites au laboratoire, permettent de dresser le tableau suivant qui résume cette seconde série d'observations :

PÉRIODES des observations.	DÉBITS correspondants.	NOMBRE des jours d'observation.	VOLUME de l'eau recueillie.	POIDS du limon recueilli.	POIDS DU LIMON par mètre cube.	POIDS du limon entraîné pendant la période.	VOLUME en mètres cubes à 1600 kil.
	m. cub.		lit.	gr.	gr.	kil.	m. cub.
Du 1er novembre 1859 au 31 janvier 1860[1].....	39.037.844	81	107.487	86.698	806.59	31.487.567	19679.[illegible]
Du 1er au 30 avril 1860..	12.065.336	26	34.502	17.628	510.93	6.164.542	3852.[illegible]
Du 1er au 31 mai 1860[2].	14.303.198	26	34.502	44.415	1287.31	18.412.650	11507.[illegible]
Du 1er au 30 juin 1860..	23.632.273	30	39.810	61.600	1547.34	36.567.161	22854.[illegible]
Du 1er au 31 juillet 1860.	25.940.945	31	41.137	46.540	1131.34	29.348.028	18342.[illegible]
Du 1er au 31 août 1860..	25.940.945	31	41.137	5.605	136.25	3.534.454	2209.[illegible]
Du 1er au 30 sept. 1860..	8.676 245	30	39.810	296.360	7444.36	64.589.091	40368.[illegible]
Du 1er au 31 oct. 1860..	5.995.020	31	41.137	209.330	5088.60	30.506.259	19066.[illegible]
Totaux..............	155.591.846	286				220.609.752	137881.[illegible]

[1] Chômage du 16 au 26 décembre. Les limons de février n'ont pas été recueillis. Chômage du 26 février au 4 avril.
[2] Chômage du 14 au 18 mai.

La moyenne mensuelle du poids des matières solides entraînées par mètre cube d'eau passant dans le canal de Carpentras à Taillades varie de 136^{g}25 à 7444^{g}36. La moyenne générale des observations donne pour le poids moyen annuel des matières solides entraînées par mètre cube d'eau :

$$\frac{220,609,752^{k}}{155,591,846} = 1^{k},417.$$

La moyenne des matières en suspension par mètre cube dans les eaux de la Durance à Mérindol, pendant la même période, a été de 1^{k}501, chiffre qui contrôle suffisamment celui obtenu à Taillades quand on tient compte de la position des deux stations et des remarques faites sur le régime des eaux du canal.

Le poids total des limons charriés en 286 jours d'observations devant Taillades, pour un débit total de 155 591 846^{mc}, est de 220 609 752^{k}.

Le poids de ces limons après leur dépôt sur le sol est néces-

sairement assez variable, mais on ne doit pas s'écarter beaucoup de la vérité en admettant qu'ils pèsent 1600k le mètre cube. Le volume de limons entraîné par les eaux du canal serait alors de 137,881mc. Si l'on supposait que la totalité de ces limons se dépose sur le sol, ils pourraient donner une couche de 0m,01 d'épaisseur sur 1378 hectares environ.

Malheureusement, il s'en faut de beaucoup que ce résultat soit atteint. On n'emploie généralement les eaux que pendant les mois d'arrosage, où elles sont ordinairement le moins chargées. D'un autre côté, l'eau sort rarement des terrains complétement éclaircie. Il est difficile, par conséquent, que la totalité des limons soit conservée par les terres, quand le sol n'est pas spécialement disposé pour le colmatage, ou de manière à absorber toute l'eau par infiltration.

Les chiffres précédents, malgré cette observation, montrent l'importance des troubles charriés par les canaux dérivés de la Durance et l'utilité d'appeler plus particulièrement sur ce point l'attention des cultivateurs, afin qu'ils appliquent de plus en plus les eaux à la fertilisation des terres arides, et à l'amélioration continue des terres déjà cultivées.

Composition chimique des limons. — On reviendra dans un instant sur les applications immédiates de ces faits, mais il convient d'abord de terminer ce qui se rapporte à l'étude détaillée des limons du canal de Carpentras.

L'analyse des produits recueillis a donné pour leur composition en centièmes les chiffres suivants :

	1er nov. 1859 au 31 janv. 1860	Avril 1860	Mai 1860	Juin 1860	Juillet 1860	Août 1860	Septemb. 1860	Octobre 1860
Résidu argilo-siliceux insoluble dans les acides faibles. . . .	46.800	46.000	46.450	45.900	48.700	49.750	52.750	52.750
Alumine et peroxyde de fer solubles. . . .	4.600	5.600	6.000	4.800	3.700	5.150	5.400	5.500
Carbonate de chaux. .	41.070	40.890	41.780	41.870	42.500	38.840	34.910	34.820
Azote.	0.119	0.114	0.110	0.113	0.092	0.093	0.093	0.094
Carbone.	0.926	0.777	0.680	0.702	0.572	0.599	0.490	0.604
Eau combinée et produits non dosés. . .	6.485	6.619	4.980	6.615	4.436	5.568	6.357	6.232
	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000

Ces différents limons ont une composition minérale peu variable. Le carbonate de chaux présente un maximum en juillet et un minimum en septembre, comme on l'a indiqué dans la section précédente pour les limons de la Durance. La proportion de carbone p. 100 est un peu moindre que dans les limons de la Durance. La proportion d'azote paraît légèrement supérieure.

Ces derniers faits résultent de plusieurs causes faciles à apercevoir. D'abord, les débris organiques non décomposés flottent généralement à la surface de l'eau, s'échappent par les déversoirs et diminuent d'autant la proportion de carbone dans les limons. D'un autre côté, la combustion lente du carbone par l'oxygène de l'air a lieu énergiquement dans le canal, quelquefois à sec, et où le volume d'eau peu considérable et roulant sur lui-même se sature constamment d'air. D'ailleurs les limons les plus grossiers s'écoulent par les premières prises inférieures, et la fine matière organique azotée continuant son cours augmente par conséquent d'autant plus la richesse du limon que l'on s'éloigne davantage de l'origine du canal. Enfin, sur beaucoup de points, le canal peut recevoir quelques déjections de l'égout des chemins, etc.

Poids des éléments entraînés. — En réunissant les chiffres des deux tableaux qui précèdent, on peut calculer les poids des principaux éléments charriés par les eaux du canal de Carpentras à Taillades. On forme ainsi le tableau suivant :

PÉRIODES des observations.	POIDS du limon entraîné pendant la période.	RÉSIDU argilo-siliceux sur 100	RÉSIDU argilo-siliceux sur la totalité.	ALUMINE et peroxyde de fer sur 100	ALUMINE et peroxyde de fer sur la totalité.	CARBONATE de chaux sur 100	CARBONATE de chaux sur la totalité.	AZOTE sur 100	AZOTE sur la totalité.	CARBONE sur 100	CARBONE sur la totalité.	EAU COMBINÉE et produits non dosés sur 100	EAU COMBINÉE et produits non dosés sur la totalité.
	k.		k.		k.		k.		k.		k.		k.
Du 1er nov. 1859 au 31 janvier 1860.	31487567	46.80	14736181.3	4.60	1448428.1	41.07	12931943.8	0.119	37470.2	0.926	291574.9	6.485	2041968.7
Du 1er au 30 avril 1860...........	6164542	46.00	2835689.3	5.60	345214.4	40.89	2520681.2	0.114	7027.6	0.777	47898.5	6.619	408031.0
Du 1er au 31 mai 1860...........	18412650	46.45	8552675.9	6.00	1104759.0	41.78	7692805.2	0.110	20253.9	0.680	125206.0	4.980	916950.0
Du 1er au 30 juin 1860............	36567161	45.90	16784327.0	4.80	1755223.7	41.87	15310670.3	0.113	41320.9	0.702	256701.5	6.615	2418917.7
Du 1er au 31 juillet 1860..........	29348028	48.70	14292489.6	3.70	1085877.0	42.50	12472912.0	0.092	27000.2	0.572	167870.7	4.436	1301878.5
Du 1er au 31 août 1860	3534454	49.75	1758390.9	5.15	182024.4	38.84	1372781.9	0.093	3287.0	0.599	21171.4	5.568	196798.4
Du 1er au 30 septembre 1860......	64589091	52.75	34070745.5	5.40	3487810.9	34.91	22548051.7	0.093	60067.9	0.490	316486.5	6.357	4105928.5
Du 1er au 31 octobre 1860........	30506259	52.75	16092051.6	5.50	1677844.2	34.82	10622279.4	0.094	28675.9	0.604	184257.8	6.232	1901150.1
Totaux.........................	220609752		109122551.1		11087181.7		85472125.5		225103.6		1401233.2		13291622.9

En résumé, les eaux du canal de Carpentras ont entraîné devant Taillades, en 286 jours d'observations pendant l'année 1859-1860, un poids total de 220 609 752ᵏ de limon, composé de 120 210 tonnes de matières argileuses, de 85 472 tonnes de carbonate de chaux, de 225 tonnes d'azote, de 1401 tonnes de carbone et enfin de 13 292 tonnes d'eau combinée et de matières diverses. Le tout combiné et mélangé dans les conditions qui constituent les terres arables les plus fertiles.

Sur cette masse de matières fertilisantes, l'agriculture n'utilise guère qu'une partie des limons des eaux de mai à septembre; on peut donc dire avec certitude que le colmatage n'est point assez généralement appliqué, ce qui est d'autant plus regrettable, que les arrosages d'été payant, et au delà, les frais de construction et d'entretien du canal, les colmatages pourraient n'avoir à supporter pour ainsi dire que les frais de main-d'œuvre nécessaires à leur exécution. Quelques exemples remarquables de travaux de cette espèce existent déjà dans le pays, et toutes les garigues irrigables des environs de Perthes pourraient être transformées en quelques années en terres de première classe par l'emploi de ces précieux limons aujourd'hui si incomplétement utilisés.

Applications à l'irrigation. — En poursuivant cette étude nous arrivons enfin aux pratiques agricoles elles-mêmes, c'est-à-dire à l'examen de diverses cultures irriguées, où l'on met à profit les eaux chargées de limon fournies par le canal.

Les arrosages d'une prairie de Taillades[1] ont donné les nombres suivants[1] :

1. Voyez *Expériences sur l'emploi des eaux dans les irrigations sous différents climats*, par M. Hervé Mangon, 1ʳᵉ édition, pages 25, 78 et 79.

DATES DES ARROSAGES.	VOLUMES par arrosage pour un hectare.		MATIÈRES en suspension pour un hectare.		MATIÈRES en suspension par mètre cube d'eau.	
	Entrée.	Sortie.	Entrée.	Sortie.	Entrée.	Sortie.
	mc.	gr.	kil.	kil.	gr.	gr.
5 juin 1860......	1829.8	512.4	2565.4	»	1402.01	»
26 juin..........	1480.3	164.2	4665.9	»	3151.99	»
3 juillet.........	1095.4	175.7	1550.1	83.4	1415.09	474.67
8 juillet.........	1292.8	187.9	2352.9	39.3	1820.00	209.15
14 juillet.........	1170.4	315.0	2667.4	459.5	2279.04	1158.73
21 juillet.........	1661.4	411.5	692.8	35.4	416.99	86.02
28 juillet.........	1148.4	203.8	671.8	8.1	584.98	39.74
4 août..........	852.8	134.6	817.9	22.7	959.07	26.61
9 août..........	1190.7	241.5	200.0	14.7	167.96	12.34
17 août..........	1458.5	275.9	523.6	19.9	358.99	72.12
25 août..........	1050.6	208.4	127.1	2.1	120.97	13.94
1er septembre......	1275.8	228.0	252.6	3.9	197.99	17.10
13 septembre.....	875.9	120.0	199.4	95.0	227.65	791.06
	16382.8	3178.9	17286.9	784.0		

Les moyennes mensuelles des proportions de troubles contenus dans les eaux d'entrée déduites de ces quelques observations diffèrent beaucoup, comme il était facile de le prévoir, des moyennes générales résultant des observations faites sur le canal et rapportées page 14. La disposition des prises et des rigoles, l'ordre des arrosages et les jours des opérations doivent en effet modifier dans de très-fortes proportions les résultats. Ces faits, du reste, démontrent une fois de plus combien il est indispensable, dans les expériences agricoles, de faire des séries complètes d'observations pour chaque étude partielle, aussi bien que pour les phénomènes plus généraux. On aurait commis en effet des erreurs graves si l'on avait appliqué les observations faites sur les eaux du canal, en général, aux eaux servant à l'arrosage de la prairie. Réciproquement, les moyennes mensuelles déduites des observations isolées faites sur la prairie, appliquées au canal, auraient conduit à des résultats fort éloignés de la vérité.

Les observations de même nature faites sur une luzerne à Taillades[1] sont réunies dans le tableau suivant:

1. Ouvrage cité, pages 31, 88 et 89.

DATES DES ARROSAGES.	VOLUMES par arrosage pour un hectare.		MATIÈRES en suspension pour un hectare.		MATIÈRES en suspension par mètre cube d'eau.	
	Entrée.	Sortie.	Entrée.	Sortie.	Entrée.	Sortie.
	mc.	gr.	kil.	kil.	gr.	gr.
5 juin 1860.....	4458.6	»	3063.0	»	686.98	»
1er juillet.........	2431.9	»	14438.1	»	5936.96	»
5 juillet.........	4096.6	394.6	3621.3	145.2	883.97	367.96
14 juillet.........	4040.8	258.5	4675.2	134.9	1156.99	521.85
21 juillet.........	3440.5	352.2	966.8	61.6	281.00	174.90
28 juillet.........	3093.1	157.5	1246.5	50.4	402.99	320.00
9 août..	3440.5	185.2	928.9	27.0	269.98	145.78
17 août..........	3727.3	275.2	1017.5	34.9	272.98	126.81
25 août..........	3440.5	184.5	426.6	17.7	123.99	95.93
1er septembre.....	2840.4	130.5	178.9	6.9	62.98	52.87
13 septembre.....	2949 0	63.0	6989.0	106.0	2369.95	1682.53
	37959.2	2001.2	37551.8	584.6		

Ces chiffres donnent lieu aux mêmes observations que ceux du tableau précédent, soit qu'on les compare aux chiffres de ce tableau lui-même, soit qu'on les rapproche de ceux de la moyenne générale. Enfin, les observations faites[1] sur une culture de haricots à Taillades ont donné :

DATES des ARROSAGES.	VOLUMES par arrosage par 1 hectare.	MATIÈRES en suspension par 1 hectare.	MATIÈRES en suspension par mètre cube d'eau.
	m. c.	kil.	gr.
29 mai 1860............	798.0	1658.2	2077.94
27 juin...............	2607.5	6406.6	2456.98
5 juillet................	548.8	510.9	930.94
14 juillet...............	428.0	965.6	2256.07
21 juillet...............	436.9	137.2	314.03
28 juillet...............	306.5	153.8	501.79
	5125.7	9832.3	

1 Ouvrage cité, pages 35, 94 et 95.

Cette culture étant plus voisine du canal que les deux précédentes, la moyenne des matières en suspension pendant le mois de juillet, résultant des quatre observations qui précèdent, se rapproche assez de la moyenne générale du mois donnée page 446 ci-dessus.

La composition chimique de ces limons, un peu variable d'un échantillon à l'autre, se rapproche beaucoup de la composition moyenne des limons du canal recueillis dans les mois correspondants. Afin d'abréger, on ne reproduira pas ici le détail de ces analyses. On dira seulement que la proportion d'azote est un peu moindre que dans le limon moyen du canal, parce que les prises, se trouvant près du fond, reçoivent les parties les plus grossières du limon, qui sont les moins azotées, comme on l'a déjà expliqué.

Épaisseur du limon déposé. — Si l'on admet, comme précédemment, que le limon déposé sur le sol pèse 1600^k le mètre cube, on voit que la couche annuelle apportée par les eaux dans les trois expériences précédentes a été respectivement :

Pour la prairie de Taillades,

une épaisseur de. . . . . $\frac{17286.9-784.0}{1600\times10000}=0^m.0010.$

Pour la luzerne de Taillades,

une épaisseur de. . . . . $\frac{37551.8-584.6}{1600\times10000}=0^m.0023.$

Pour les haricots de Taillades,

une épaisseur de. . . . . $\frac{9832^k.3}{1600\times10000}=0.0006.$

Dans des cultures plus largement arrosées, l'exhaussement du sol est quelquefois beaucoup plus fort. On cite dans Vaucluse des prairies dont le sol s'élève, dit-on, d'un centimètre par an.

L'eau sortant des terrains soumis à nos expériences n'était point complétement éclaircie, ainsi qu'il arrive toujours dans la pratique, surtout quand les travaux ne sont point spécialement dirigés en vue du colmatage. Si l'on se reporte aux trois derniers tableaux qui précèdent, on voit que les rapports du poids du

limon déposé sur le sol, au poids total du limon apporté par les eaux; sont respectivement :

Pour la prairie de Taillades. $\frac{17286.9 - 784.0}{17286.9} = 0.95.$

Pour la luzerne de Taillades. $\frac{37551.8 - 584.6}{37551.8} = 0.97.$

Ce rapport est égal à l'unité par le champ de haricots, puisque toute l'eau est absorbée par le sol.

Ces trois expériences, faites dans des conditions aussi normales que possible, doivent se rapprocher assez des résultats que l'on obtiendrait en opérant sur l'ensemble des arrosages du canal de Carpentras. On peut donc admettre que, dans l'état actuel, les cultures arrosées qui nous occupent conservent les 0,97 des limons apportés par les eaux qu'elles reçoivent. Mais les arrosages ayant lieu au plus de mai à septembre, les limons apportés par les eaux à Taillades, dans cette période, forment un total de 152451384^{k}, dont il reste sur le sol $0.97 \times 152451384 = 147877842$. Le poids total des limons charriés étant de 220609752^{k} dans la période des observations, on voit que le rapport des limons utilisés aux limons charriés est seulement

$$\frac{147877842}{220609752} = 0.67.$$

Ce rapport serait encore bien plus faible, si le mois de février et les quarante jours de chômage figuraient au tableau. On peut donc dire que la moitié environ des limons charriés par le canal ne sont point utilisés, et restent à la disposition des travaux de colmatage si utiles à entreprendre.

Application à la Durance. — En faisant des calculs analogues sur la Durance, on trouve qu'il serait facile d'utiliser par an 11077071$^{mc} \times 0.97 = 10744758^{mc}$ de ses limons, si le volume de ses eaux à Mérindol était employé en totalité.

Mais, dans l'état actuel des choses, les canaux d'arrosage prennent au plus 69^{mc} d'eau par seconde[1], et ne les emploient que pendant les mois de mai à septembre. Le volume d'eau emprunté à la rivière par les canaux pendant cette période est

1. Ce chiffre est celui des concessions ou droits d'usage existants, comme l'in-

égal à $153^j \times 86400'' \times 69^{mc} = 912124800^{mc}$. D'un autre côté, si l'on se reporte au tableau de la page 438, et que l'on divise la somme des volumes des limons charriés par la Durance pendant les cinq mois considérés par son débit dans le même temps, on trouve que la richesse moyenne en limon est de $0^{mc},001253915$ par mètre cube. En multipliant ce dernier chiffre par le débit des canaux et par le rapport, 0,97, obtenu ci-dessus du limon fixé sur le sol au limon apporté, on voit que les irrigations actuelles pourraient retenir : $0.97 \times 912124800^{mc} \times 0^{mc},001253915 = 1109415^{mc}$.

Ce chiffre est beaucoup trop élevé, puisque le débit de 69^m par 1'' est rarement atteint, et en tout cas fortement réduit pendant la nuit.

Le rapport du limon utilisé au limon total est donc moindre que $\frac{1109415}{11077071} = 0,10$.

Ainsi, les neuf dixièmes des limons de la Durance ne sont point utilisés et vont se perdre dans la mer. Un pareil chiffre dit

dique la liste suivante. Mais il est rare que tout ce volume soit pris à la fois, et la nuit on arrose peu.

Rive droite :

	m. cc.	
Canaux de Perthuis et de Cadenet...	3.00	Décret du 18 novembre 1854.
Canal de Villeneuve..............	0.60	Ancien canal non réglé.
— de Lauris................	0.30	Id.
— de Carpentras............	10.00	Décret du 13 février 1853.
Canaux de St-Julien et Cabedanvieux.	4.40	Décret du 21 février 1857.
Canal Crillon..................	4.00	Ordonnance du 28 nov. 1837 et décret du 23 juin 1853.
— de l'Hôpital..............	1.50	Ancien canal non réglé.
— Cambis..................	1.40	Id.

Rive gauche :

Canal de Peyrolles..............	2.00	Ordonnance du 19 octobre 1843.
Canaux de Marseille et d'Aix......	7.25	Loi du 4 juillet 1838.
Canal de Craponne...............	10.00	Ancien canal non réglé.
Canal des Alpines ou de Boisgelin. — anciennes concess..	10.80	Titres de diverses dates.
— 1re br. septentrion.	5.00	Ordonnance du 11 avril 1839.
— 2e branche id...	5.00	Décret du 31 juillet 1850.
Canal de Sénas..................	0.75	Ancien canal non réglé.
— de Cabannes..............	0.50	Id.
— Château-Renard..........	1.50	Id.
— Saint-Andéol............	1.00	Décret du 28 juin 1856.
	69.00	

assez combien il importe de multiplier les colmatages et de tenir compte des travaux de ce genre dans toutes les entreprises d'irrigation.

III. — La Loire et quelques-uns de ses affluents.

Mode d'observation. — Les observations de cette dernière section sont extrêmement nombreuses, mais elles ne forment point de séries continues. Entreprises pour les besoins du service des études des inondations, qui n'avait à se préoccuper que du régime des crues, les échantillons n'ont été recueillis qu'en grandes eaux. La réunion de ces nombreux documents, qui n'avaient jamais été obtenus, offre cependant un grand intérêt et fournit des renseignements précis d'une utilité immédiate pour différents ordres de recherches.

Les échantillons d'eau trouble étaient recueillis par les agents du service des inondations dans des vases de capacité bien déterminée; on notait, au moment de la prise, la hauteur de l'eau, la période de la crue, croissante, étale ou décroissante, la profondeur à laquelle on faisait le puisage du liquide, enfin le jour et l'heure de l'observation. On laissait l'eau s'éclaircir complétement et on expédiait au laboratoire le dépôt boueux obtenu.

Les résultats de ce travail sont réunis dans les tableaux n°s 3, 4 et 5, trop étendus pour trouver place ici.

Le tableau n° 3 contient les pesées et les analyses des troubles recueillis dans des conditions permettant de calculer le débit du cours d'eau[1], Les formules ou les tables de débit employées dans les calculs étaient assez exactes. Mais, à défaut de renseignements détaillés, j'ai dû prendre pour hauteur moyenne des eaux entre deux observations, la moyenne des hauteurs notées au moment de ces observations. Cette manière d'opérer ne serait exacte qu'autant que la croissance et la décroissance des eaux seraient proportionnelles au temps entre deux observations.

1. Les formules et les documents nécessaires à ces calculs m'ont été donnés par M. Comoy, inspecteur général des ponts et chaussées, auquel j'exprime ici toute ma reconnaissance.

Il n'en est point ainsi, en général. Les hauteurs successives des eaux entre l'étale et un instant quelconque de la crue étant portées en ordonnées, en prenant le temps pour abscisse, forment ordinairement une courbe convexe. La hauteur moyenne véritable des eaux entre deux observations est donc plus grande habituellement que la moyenne des hauteurs extrêmes employée dans mes calculs. Il en résulte que mes résultats sont un peu faibles en général, ce que j'ai préféré à un mode de calcul différent, qui aurait pu me donner des chiffres supérieurs à la vérité.

La quantité du limon recueilli dans chaque prise était ordinairement trop faible pour permettre une analyse complète. J'ai donc fréquemment réuni les troubles d'une même crue pour en faire l'échantillon moyen sur lequel a porté l'analyse.

Quelques troubles très-abondants contenaient du sable fin. Cette circonstance s'est présentée trop rarement pour qu'on s'y arrête.

La disposition des tableaux indique d'ailleurs suffisamment la marche des opérations pour qu'il soit utile de la décrire avec plus de détails.

Le tableau n° 4 comprend les pesées et les analyses de limons recueillis dans des conditions bien définies de hauteur d'eau, mais dans des points où les formules de débit n'étaient pas assez bien établies pour qu'on ait pu leur accorder une pleine confiance. Ce tableau servira à compléter peu à peu le tableau n° 3 quand les jaugeages auront pu se multiplier davantage.

Enfin le tableau n° 5 renferme, pour ne rien omettre, un petit nombre de chiffres relatifs à des limons qu'il n'a pas été possible d'analyser, ou bien pour lesquels la hauteur de la crue ou quelque autre circonstance essentielle n'a pas été notée.

En jetant les yeux sur les tableaux 3, 4 et 5, on remarque combien les proportions et la nature des troubles varient d'une observation à l'autre. Pour une même hauteur de crue, suivant le point du bassin qui fournit la crue, selon la profondeur où l'on puise l'eau, selon la période de la crue, la proportion de trouble est différente. On comprend dès lors la nécessité de multiplier beaucoup ces observations et de les faire par séries continues pour obtenir des résultats donnant des totaux exacts.

Pour ne pas trop compliquer les tableaux, on n'a pas fait figurer dans les analyses la proportion de carbonate de magnésie, mais cette substance a presque toujours été déterminée. Ce composé est quelquefois en proportion presque égale et même supérieure à celle du carbonate de chaux, surtout dans les limons des affluents supérieurs.

Poids des limons. — Il serait impossible de résumer sous une forme abrégée ces nombreuses expériences, qui ont chacune leur signification individuelle; on se bornera, pour donner seulement une idée du travail, à récapituler quelques observations faites en temps de crue sur les limons de la Vienne à Châtellerault et de la Loire à Tours.

DATES des OBSERVATIONS.	HAUTEURS extrêmes des eaux pendant la période.	DÉBIT moyen en 24 heures pendant la période.	POIDS MOYEN du limon par mèt. cubes d'eau pendant la période.	POIDS MOYEN du limon entraîné en 24 heures pendant la période.	VOLUMES MOYENS du limon en mètr. cubes de 1600 kil. entraînés en 24 heures pendant la période.
LA VIENNE AU PONT DE CHATELLERAULT.					
	m. m.	mc.	gr.	k.	mc.
Du 4 au 5 avril 1858........	0.83 à 0.95	9128492	72.9	665634	416
Du 27 au 29 décembre 1858...	1.40 à 2.75	27142300	495.2	13442839	8402
Du 14 au 16 avril 1859......	1.24 à 1.70	16731242	78.7	1316338	823
22 octobre 1859............	2.90 à 3.60	49550400	482.5	23908334	14942
31 octobre au 3 novembre 1859.	1.60 à 5.50	61056000	187.2	11433508	7146
Du 22 au 27 décembre 1859...	1.40 à 2.15	21461760	125.0	2683580	1646
Du 5 au 7 janvier 1860......	2.00 à 3.45	41472000	99.0	4106283	2566
Du 22 au 23 janvier 1860.....	2.18 à 2.70	32112000	111.1	3566710	2229
Du 25 au 26 janvier 1860.....	2.62 à 3.35	44208000	67.2	2973420	1858
Du 30 janv. au 1er février 1860.	3.00 à 3.38	47995200	55.3	2653819	1658
Du 10 au 11 février 1860.....	1.70 à 2.20	24652800	67.1	1653353	1033
Du 24 au 25 septembre 1860..	1.35 à 2.75	30499200	212.4	6478501	4049
Du 11 au 12 décembre 1860..	1.75 à 2.70	29931429	294.8	8824210	5515
26 déc. 1860 au 1er janv. 1861.	2.00 à 3.85	41212800	75.1	3093055	1933
LA LOIRE AU PONT DE TOURS.					
30 déc. 1859 au 3 janv. 1860.	2.03 à 3.17	136084000	319.4	43473364	27171
Du 8 au 11 janvier 1860.....	2.10 à 2.65	100800000	467.0	47077660	29423
Du 30 janv. au 7 fév. 1860...	2.03 à 3.30	120366000	169.1	20354749	12097
Du 1er au 7 mars 1860.......	2.06 à 3.36	123552000	193.4	23900846	14938
Du 9 au 12 avril 1860........	2.07 à 2.60	98928000	231.7	22927363	14329
Du 11 au 18 décembre 1860..	2.05 à 2.74	97542620	114.3	11150575	6969
28 déc. 1860 au 8 janv. 1861.	2.03 à 3.87	147115636	119.4	17564081	10970
Du 16 au 18 mars 1861......	2.01 à 2.31	87264000	169.8	14826132	9266
Du 22 au 28 mars 1861......	2.02 à 2.77	102528000	92.6	9502042	5939
Du 29 au 31 mars 1861......	2.01 à 2.23	85104000	59.8	5094381	3183
Du 3 au 10 décembre 1862...	2.01 à 3.30	127316571	263.5	33547707	20967
Du 11 au 16 janvier 1863.....	2.00 à 2.70	87350400	151.6	13246740	8279
Du 18 au 26 janvier 1863....	2.00 à 2.10	78093626	56.1	4379660	2736

Composition chimique des limons. — On trouvera dans les tableaux n° 3 et 4 les détails de l'analyse de chaque limon; mais, pour donner par quelques exemples une idée de la nature et de la quantité des matières entraînées, comme on l'a fait dans les chapitres précédents, on reproduira dans la table suivante, en regard des quantités de limon données dans le tableau précédent, la composition de ce limon.

DATES DES OBSERVATIONS.	POIDS du limon entraîné en 24 heures.	RÉSIDU argilo-siliceux		ALUMINE et peroxyde de fer		CARBONATE de chaux		AZOTE		CARBONE		EAU COMBINÉE et produits non dosés	
		pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.
LA VIENNE AU PONT DE CHATELLERAULT.	k.		k.		k.		k.		k.		k.		k.
Du 4 au 5 avril 1858	665634	58.60	390061	15.60	103839	0.20	1331	0.76	5059	6.90	45929	17.94	119415
Du 27 au 29 décembre 1858	13442839	61.06	8208495	14.86	2007816	0.84	113377	0.52	69507	4.67	627206	18.05	2416438
Du 14 au 16 avril 1859	1316338	56.30	741098	15.70	206665	1.40	18429	0.78	10267	7.00	92144	18 82	247735
Le 22 octobre 1859	23908334	61.10	14706154	18.00	4293684	0.45	112496	0.43	102102	3.37	818196	16.65	3875704
Du 31 octobre au 3 novembre 1859	11433508	59.90	6848672	18.40	2103765	3.00	343005	0.39	44591	3.17	362442	15.14	1731033
Du 22 au 27 décembre 1859	2683580	62.20	1669187	13.00	348865	7.10	190534	0.31	8319	3.66	98219	13.73	368456
Du 5 au 7 janvier 1860	4106283	61.10	2508939	14.40	591305	4.40	180676	0.47	19299	4.69	192585	14.94	613479
Du 22 au 23 janvier 1860	3566710	56.90	2029458	13.40	477940	3.10	110568	0.38	13553	6.96	247243	19.26	686948
Du 25 au 26 janvier 1860	2973420	64.60	1920829	12.60	374651	2.80	83256	0.50	14867	3.19	94852	16 31	464965
Du 30 janvier au 1er février 1860	2653819	59.80	1586984	13.80	366227	2.00	53076	0.56	14861	5.40	143307	18.44	489364
Du 10 au 11 février 1860	1653353	60.30	996972	14.90	246349	1.50	24800	0.46	7605	4.44	73409	18.40	304218
Du 24 au 25 septembre 1860	6478501	57.86	3748084	10.37	672926	3.56	230713	0.57	36679	6.93	448568	20.71	1341441
Du 11 au 12 décembre 1860	8824210	61.00	5382768	12.50	1103026	5.20	458859	0.43	37944	3.36	296494	17 51	1545119
Du 26 décemb. 1860 au 1er janv. 1861	3093055	59.50	1840368	5.60	482516	0.96	29693	0.72	22270	4.44	137332	18.78	580876

DATES DES OBSERVATIONS.	POIDS du limon entraîné en 24 heures.	RÉSIDU argilo-siliceux		ALUMINE et peroxyde de fer		CARBONATE de chaux		AZOTE		CARBONE		EAU COMBINÉE et produits non dosés	
		pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.	pour 100	sur la totalité.
LA LOIRE AU PONT DE TOURS.	k.		k.		k.		k.		k.		k.		k.
Du 30 décemb. 1859 au 3 janvier 1860.	43473364	76.35	33193728	8.40	3650895	2.05	891393	0.21	93448	1.70	736734	11.29	4907166
Du 8 au 11 janvier 1860	47077660	67.40	31730343	11.60	5461009	2.80	1318174	0.36	169470	4.68	2203235	13.16	6195420
Du 30 janvier au 7 février 1860	20354749	68.60	13963358	9.10	1852282	5.00	1017737	0.29	59029	2.63	535330	14.38	2927013
Du 1er au 7 mars 1860	23900846	66.60	15917964	11.90	2844201	2.20	525819	0.41	97993	3.71	886721	15.18	3628148
Du 9 au 12 avril 1860	22927363	66.10	15154987	13.20	3026412	1.80	412692	0.37	84831	2.44	559428	16.09	3689013
Du 11 au 18 décembre 1860	11150575	68.10	7593542	11.30	1260015	0.90	100355	0.36	40142	3.25	362394	16.09	1794127
Du 28 décembre 1860 au 8 janvier 1861.	17564081	59.00	10362810	10.30	1809100	4.50	790383	0.61	107141	6.22	1092486	19.37	3402162
Du 16 au 18 mars 1861	14826132	67.50	10007639	10.20	1512266	2.70	400305	0.35	51891	4.43	656798	14.82	2197233
Du 22 au 28 mars 1861	9502042	66.20	6290352	12.00	1140245	2.40	228049	0.48	45610	4.83	458949	14.09	1338838
Du 29 au 31 mars 1861	5094381	65.10	3316442	11.60	590948	2.70	137548	0.61	31076	6.14	312795	13.85	705572
Du 3 au 10 décembre 1862	33547707	68.50	22980179	11.20	3757343	2.30	771597	0.35	117417	4.70	1576742	12.95	4344428
Du 11 au 16 janvier 1863	13246740	83.60	11074275	6.30	834545	2.00	244935	0.19	25169	0.69	91402	7.22	956414
Du 18 au 26 janvier 1863	4379660	57.90	2535824	10.30	451105	9.30	407308	0.55	24088	4.96	217231	16.99	744104

Les tableaux précédents montrent qu'une rivière, même peu limoneuse, entraîne par vingt-quatre heures des quantités véritablement énormes de matières solides, sans que ses eaux soient très-élevées au-dessus de l'étiage. Ainsi, par exemple, la Vienne, le 22 octobre 1859, avec des hauteurs de $2^m,90$ à $3^m,60$ à l'échelle de Châtellerault, entraînait assez de limon pour colmater 100 hectares par jour sur une épaisseur d'un centimètre et demi environ, et jetait à la mer dans ces conditions 102102^k d'azote et 818196^k de carbone. A la cote de $0^m,83$ à $0^m,95$, cette rivière pourrait encore limoner 40 hectares par jour sur une épaisseur d'un millimètre, et elle entraîne 5059^k d'azote et 45929^k de carbone.

Pour la Loire à Tours, les chiffres sont naturellement bien plus considérables encore. Ainsi, du 8 au 11 janvier 1860, pour des hauteurs de $2^m,10$ à $2^m,65$, le volume du limon entraîné était de 29423^{mc} par vingt-quatre heures, c'est-à-dire suffisant pour colmater 100 hectares sur une épaisseur de près de 3 centimètres. Du 18 au 26 janvier 1863, avec des eaux peu chargées et des hauteurs de $2^m,00$ à $2^m,10$ seulement au-dessus de l'étiage, le volume de limon perdu par vingt-quatre heures était encore de 2736 mètres cubes, représentant sur 100 hectares de superficie une couche de près de 3 millimètres de matières fertilisantes, contenant 24088^k d'azote et 217231^k de carbone.

Les hauteurs d'eau portées à ces tableaux n'ont d'ailleurs rien d'exceptionnel; d'après les relevés graphiques de M. Comoy, la Vienne, à Châtellerault, est environ cinquante-quatre jours par an à plus d'un mètre au-dessus de l'étiage, et la Loire, à Tours, atteint et dépasse fréquemment 2 mètres. En négligeant même les troubles charriés en basses eaux, et qui sont souvent fort notables, on voit donc que c'est par millions de mètres cubes qu'il faut compter chaque année le volume des limons entraînés à la mer par la Loire et ses affluents.

Ces troubles ne sont pour ainsi dire utilisés nulle part et se perdent dans la profondeur des mers, à l'exception du faible volume qui vient se déposer dans la baie de Noirmoutiers, et former le sol des polders que l'on endigue peu à peu sur cette côte [1].

Vérifications géologiques.— Avant de terminer ce travail, il convient de se demander si les résultats déduits de nos opérations

1. *Du goëmon dans la culture des Polders*, par M. Hervé Mangon.

analytiques sont comparables à ceux que l'on déduirait de l'observation synthétique de phénomènes plus ou moins anciens.

Quelques faits répondront à cette question.

Le rivage de la mer est maintenant à 25,000 mètres d'Adria, et paraît s'en être éloigné de 10 mètres par an depuis deux mille cinq cents ans [1]. Il faudrait de nombreux sondages pour évaluer rigoureusement le volume du dépôt limoneux qui a produit cette modification du sol, mais il est facile de reconnaître que ce calcul conduirait à des chiffres de même ordre de grandeur que ceux indiqués dans ce travail.

Les embouchures du Rhône, du Rhin, du Pô, etc., ont éprouvé depuis les temps historiques des modifications non moins considérables par les dépôts successifs des matières charriées par les eaux.

Le sol de la vallée du Nil s'est élevé moyennement de $0^m,126$ par siècle, chiffre qui se rapproche de ceux donnés par nos observations sur les terrains irrigués du département de Vaucluse.

Ces exemples, qu'on ne pourrait multiplier sans dépasser les bornes de ce travail, sont parfaitement en rapport avec les chiffres déduits des observations précédentes. Les forces de transport des cours d'eau actuels mesurées, comme on l'a fait dans ce mémoire, semblent donc tout à fait comparables dans leur ensemble à ce qu'elles sont depuis une longue période de siècles.

RÉSUMÉ.

La terre végétale se forme quelquefois sur place par la décomposition des roches mêmes qui la supportent. Mais, en général, elle prend naissance par la désagrégation des roches dénudées sous l'action des intempéries et des agents chimiques de l'atmosphère, aidés par le développement des lichens et des mousses, dont la mission paraît être d'introduire pour la première fois la matière minérale inerte dans le cercle de la vie organique. Ces détritus, entraînés par les eaux torrentielles et mêlés à la terre labourée, que les grandes pluies délavent également, constituent les matières solides que charrient les cours d'eau.

Ainsi les limons que les fleuves transportent à la mer sont enlevés aux terres en culture ou bien aux surfaces dénudées du territoire. Dans le premier cas, l'agriculture, en ne les arrêtant

1. *Géologie pratique*, par M. Élie de Beaumont.

pas, abandonne une partie de son capital le plus précieux, laisse échapper une partie de son domaine; dans le second cas, elle réalise un manque à gagner, elle renonce à une conquête que la nature met si généreusement à sa disposition.

Sans revenir sur les faits nombreux exposés précédemment, il suffira, pour faire comprendre l'importance des ressources que les eaux limoneuses mettent au service de la culture, de rappeler qu'une seule de nos rivières, la Durance, transporte chaque année onze millions de mètres cubes de limons, contenant autant d'azote assimilable que cent mille tonnes d'excellent guano, autant de carbone que pourrait en fournir par an une forêt de quarante-neuf mille hectares d'étendue.

La Durance est de toutes nos rivières celle dont les eaux sont les mieux utilisées, et cependant un dixième seulement de ses limons profitent à l'agriculture.

De semblables chiffres dispensent de tout commentaire; ils disent assez la grandeur des ressources que l'agriculture peut attendre de l'utilisation des limons, pour le colmatage des lagunes et autres terrains submersibles, pour l'amélioration des terres pauvres et l'entretien de la fertilité du sol arable; ils montrent la nécessité de tenir compte des intérêts agricoles dans la solution du problème des inondations; ils indiquent l'utilité de recherches analogues faites sur nos grands fleuves, la Gironde, le Rhône et leurs affluents, dont les eaux pourraient trouver de si fructueuses applications; ils fournissent, enfin, de précieux éléments à l'étude de la formation et de la distribution de la terre végétale en donnant la mesure de la puissance de transport des cours d'eau naturels et de la grandeur des effets que l'on peut attribuer à des actions semblables suffisamment prolongées.

Les matières solides entraînées par les cours d'eau offrent donc, à tous les points de vue, un vif intérêt au savant comme au praticien. C'est avec une grande raison et une rare perspicacité que M. de Gasparin attachait une si grande importance à l'étude de ces matières. Les limons sont en effet un des plus puissants moyens de créer ou d'améliorer la terre végétale, cette précieuse matière, source première de toute richesse, cette chair du globe terrestre, comme l'appelait si justement un ingénieur illustre.

DISCOURS DE M. GLADSTONE

Chancelier de l'Échiquier

PRONONCÉ A BURSLEM (STAFFORDSHIRE)

POUR LA

FONDATION DE L'INSTITUT WEDGWOOD.

Au moment où un heureux mouvement de fondation de bibliothèques populaires par l'initiative des citoyens, d'organisation d'écoles professionnelles, de cours de dessin, etc., tend à se propager en France, il nous a semblé particulièrement intéressant de montrer comment les hommes les plus distingués de l'Angleterre s'associaient avec empressement à des fondations de cette nature dans ce pays tout industriel, et quelle importance ils attachaient à leur multiplication.

Le discours que nous reproduisons ici renferme d'ailleurs de curieux développements de la plus haute portée sur le rôle de l'Art dans l'Industrie, question toute d'actualité aujourd'hui, qui lui donne encore à un autre point de vue une bien grande valeur.

Nous dirons d'abord quelques mots, d'après le journal de la Société des Arts, de l'Institut élevé en mémoire de Josiah Wedgwood, mort en 1797 et dont la première pierre a été posée le lundi 26 octobre 1863 par le très-honorable W.-E. Gladstone[1].

1. M. Gladstone était président du jury international chargé de l'examen des céramiques exposées à Londres en 1862. Cette haute position l'avait naturellement désigné comme devant présider la cérémonie de la pose première de la pierre de l'Institut de Wedgwood. Il s'était trouvé pendant la durée de l'Exposition en rapport avec les hommes qui représentent le mieux la fabrication des poteries anglaises et en avait été fort apprécié. Chacun s'est plu, les étrangers comme les Anglais, à reconnaître la parfaite urbanité et la bienveillance excessive avec lesquelles il a dirigé les discussions auxquelles a donné lieu, dans le sein de la commission, la distribution des récompenses.

Le projet de cet Institut avait été discuté dès l'année 1858, mais on avait rencontré divers obstacles qu'on a depuis heureusement surmontés; des souscripteurs généreux ont fourni les fonds nécessaires. On a acquis un emplacement convenable dans le voisinage immédiat du lieu de naissance de Wedgwood et de son ancienne fabrique; les formalités exigées par le gouvernement ont été remplies, et les contribuables ont adopté presque à l'unanimité l'Acte de M. Ewart sur les Bibliothèques et Musées publics. Cette mesure permet de lever une taxe d'un penny pour l'entretien de l'Institution; on a calculé qu'elle ne produirait pas moins de 200 livres st. par an. Le plan de l'édifice est dû à M. G.-B. Nicholls; et dans une réunion des souscripteurs qui eut lieu au mois de février dernier, M. A.-J.-B. Beresford Hope émit la proposition d'ouvrir un concours céramique pour l'ornementation de la façade principale avec des moulures en terre cuite, des panneaux imités de della Robbia et des mosaïques. L'aménagement intérieur paraît tout à fait satisfaisant. On y a disposé des salles convenables pour des écoles de dessin pour hommes et pour femmes, une bibliothèque publique et gratuite, un bureau de renseignements, un musée et une salle de modelage.

A une heure, le chancelier de l'Échiquier est arrivé sous la tente où devait avoir lieu la cérémonie, et son arrivée a été saluée d'acclamations enthousiastes. Parmi les assistants se trouvaient le comte Granville, l'évêque de Lichfield, le vicomte Ingestre, MM. Lowe, Adderley, sir James Duke, MM. Grenfell, Ewart, ces six derniers membres du Parlement, mesdames Gladstone mère et fille, etc.

La cérémonie a commencé par la présentation d'une adresse au chancelier de l'Échiquier, adresse dont il a remercié ceux qui avaient été chargés de la lui présenter.

La première pierre a été ensuite posée avec le cérémonial ordinaire, après une prière de l'évêque de Lichfield, puis M. Gladstone a lu le discours suivant :

Nous venons de poser cette première pierre en l'honneur de Josiah Wedgwood, et dans le but d'être longtemps et sérieusement utiles, je l'espère, aux habitants du lieu de sa naissance.

Les occupations et les exigences de la vie politique forcent beaucoup de ceux qui s'y trouvent engagés (et je suis de ce nombre) à se faire une règle de refuser toutes les invitations d'un caractère local, à moins qu'elles ne se rapportent à ce qui appartient à leur sphère personnelle; mais lorsque j'ai été invité par l'un de vos respectables représentants à coopérer avec vous à la fondation de l'Institut Wedgwood, je n'ai pas hésité un instant à reconnaître qu'un projet de ce genre (du moins selon mes idées) n'était pas un projet local, mais un projet vraiment national. On peut en partie le regarder comme tel, parce que la fabrication de la poterie dans ses diverses et innombrables branches devient chaque jour ou plutôt est devenue l'une des grandes et belles fabrications de l'Angleterre. Mais c'est un autre motif plus élevé qui me fait regarder le projet qui vous occupe en ce moment, comme étant d'un intérêt national; il s'agit de principes applicables à l'industrie qui, suivant qu'ils sont ou observés ou négligés, en rendent les produits bons ou mauvais, et que Wedgwood appliqua avec une fermeté et une ténacité qui ne sauraient jamais être trop grandes. Ces principes étant siens et étant vrais ne distinguèrent pas peu sa pratique; aussi doivent-ils être associés à son nom dans les annales de l'art d'une manière toute spéciale.

J'ai entrepris, je le sais, une tâche assez périlleuse, car ayant à vous parler d'un homme et d'une industrie, je suis forcé de commencer par vous avouer ce que vous ne tarderiez pas à reconnaître vous-mêmes si je ne l'avouais pas, que mes connaissances sur les deux sont fort limitées, tandis que vous respirez l'air, que vous avez hérité des traditions, que quelques-uns d'entre vous portent le nom même de Wedgwood, et que vous avez tous une parfaite connaissance de questions intimement liées à votre vie et à vos intérêts de chaque jour, que vous en êtes pour ainsi dire pénétrés. Je suis l'élève qui monte un instant dans la chaire du maître, et qui au lieu d'être simple auditeur semble vouloir parler en docteur. Il me serait facile de développer plusieurs remarques de ce genre, mais il est temps que je m'arrête; je ne tarderais pas à prouver que je ne devrais pas être à cette place. Permettez-moi plutôt quelques mots pour justifier ma présence.

D'abord je puis vous assurer que tout ce que je pourrai dire,

je le soumets avec une entière déférence au jugement de ceux qui sont plus instruits que moi, et avec la pleine confiance que si j'énonce des erreurs, elles seront corrigées, si je dis quelque chose de faux, il sera hautement désapprouvé. Secondement, comme observateur, selon ma capacité et mes moyens limités, de la fabrication céramique dans ses diverses branches, je me suis formé après mûre réflexion une si haute idée de Wedgwood, non-seulement sous le rapport de son industrie particulière, mais sous le rapport des lois générales de la production industrielle, que je suis heureux que l'occasion se soit présentée pour moi de le déclarer pleinement et franchement, afin d'en rendre le public juge; troisièmement enfin, à cause des fonctions que je remplis comme serviteur de la Couronne, fonctions qui me mettent constamment en contact avec l'industrie du pays dans ses nombreuses ramifications, je suis désireux, mû par le profond intérêt que je porte à sa prospérité, de rendre témoignage aux principes dont Wedgwood fut pour ainsi dire l'apôtre, et de plus de donner à ce témoignage un peu du poids que de pareilles fonctions, le profond intérêt et les rapports immédiats qu'elles créent avec les diverses industries pourront peut-être lui communiquer, à défaut de qualités d'un ordre plus élevé.

Il y a trente ans, beaucoup de personnes probablement auraient pensé, et ce peut être encore l'opinion de quelques-unes, que les matières dont j'ai maintenant à parler sont de celles qu'on doit laisser se régler elles-mêmes. Revendiquer pour le commerce dans toutes ses branches le droit et la liberté de se diriger lui-même, a été depuis près d'un quart de siècle l'une des principales occupations du Parlement anglais. Mais la même phase dans notre existence politique et sociale qui nous a appris la vraie et utile application des lois de l'économie politique, nous a pareillement dévoilé les justes limites de la science et du champ de son application pratique. Le même siècle qui a vu l'État briser les fers de l'industrie, l'a vu aussi s'interposer hardiment pour la perfectionner. Le même esprit politique qui a enlevé au producteur la jouissance de prriviléges qui le paralysaient et coûtaient fort cher à la communauté en général, a conduit à lui offrir lè secours de la science et de l'instruction, par tous les moyens soit de précepte, soit d'exemple que l'autorité publique avait à sa disposition.

Nous pouvons considérer les œuvres de l'industrie sous le rapport de leur utilité ou de leur bon marché, de l'influence qu'elles exercent sur la condition de ceux qui les produisent, ou enfin sous le rapport de leur beauté, du degré auquel s'y trouvent réunies les formes et les couleurs agréables à un œil exercé, de leur parfaite appropriation aux usages de la vie ordinaire auxquels ils sont destinés. Or, quant à leur utilité et à leur commodité, considérées isolément, nous pouvons les abandonner au consommateur, qui n'achètera jamais que ce qui pourra lui servir. Pour ce qui est de leur bon marché, lorsqu'on a pris des mesures pour que la société tout entière ne soit pas forcée de payer un prix artificiel à quelques-uns de ses membres pour leurs produits, nous pouvons sans crainte nous fier à l'action de la concurrence entre fabricants, et à ce que nous appelons les lois de l'offre et de la demande, pour décider cette question. Quant à la condition des ouvriers, l'expérience a montré, surtout pour ce qui est du ressort des Actes sur les manufactures, que nous aurions tort de poser comme règle invariable des maximes abstraites. En général, on peut dire qu'il y a toujours présomption contre l'intervention de la législature; mais que dans certains cas particuliers, et surtout là où les enfants sont employés, elle peut non-seulement quelquefois être justifiée, mais être nécessaire. Ce n'est pas là après tout le sujet que nous avons à traiter aujourd'hui, bien qu'il soit possible que j'y revienne.

Nous voici arrivés à la dernière des choses que j'ai citées comme devant être considérées, savoir, la réunion de la beauté et de l'utilité, et c'est là, je crois, que nous devons chercher la supériorité particulière, et, je ne crains pas de le dire, la grandeur propre de Wedgwood. N'allez pas supposer que lorsque nous parlons de cette réunion de la beauté et de l'utilité, que nous parlions d'une chose sans importance ou de pure fantaisie, qui, comme quelques-unes de celles que j'ai nommées, peut être abandonnée à elle-même. La beauté dans les choses n'est pas un accident, elle appartient à leur essence, elle est répandue dans la création tout entière, et partout où elle est minime ou absente, nous avons par ce fait même la preuve du désordre moral qui règne dans le monde. Repoussez donc la fausse philosophie de ceux qui disent : « Qu'importe, pourvu qu'une chose soit utile,

qu'elle soit belle ou non? » et répondez-leur que nous profitons de la leçon que nous a donnée le Dieu tout-puissant, lui qui dans ses œuvres nous a montré, et nous a dit aussi dans sa parole « qu'il a fait toute chose, » non pas une seule chose ou une autre, mais toute chose « belle dans son temps. » Entre tous les décrets de la création, il n'y en a pas un seul plus étonnant, que vous considériez le mouvement des corps célestes ou la succession des saisons et des années, ou la disposition de l'univers et de ses phénomènes pour satisfaire aux conditions de la vie humaine, ou la structure de l'œil ou de la main ou de toute autre partie du corps humain; rien de tout cela n'est aussi étonnant que la profusion avec laquelle le puissant Créateur a répandu sur les œuvres de ses mains une beauté illimitée et infinie. Et à cette constitution des choses extérieures répond dans l'homme une constitution intérieure de l'esprit. Jusque dans les conditions les plus humbles de la vie, jusqu'au degré le plus bas et le plus arriéré de la civilisation, la nature de l'homme demande avec instance, et semble pour ainsi dire appeler à grands cris quelque chose, quelque signe, quelque marque du beau existant dans quelques-unes des nombreuses sphères de l'esprit ou des sens. C'est pour cela que le tisserand de Spitalfields, dans les sombres rues de Londres, élève des serins et des bouvreuils pour récréer son travail de leur chant; c'est pour cela que le pauvre garnit de pots de fleurs sa fenêtre, que le paysan du Pembrokeshire revêt l'extérieur de sa chaumière de vives couleurs; que les femmes des classes les plus humbles désirent quelques ornements, qui ne sont pas sans quelques dangers sans doute (car quelle satisfaction en est exempte?), et c'est là un désir peut-être quelquefois trop sévèrement blâmé par les classes élevées de la portion de la société où règne le luxe.

Nous reconnaissons plus clairement encore l'action de ce principe dans une région plus élevée; dans cet instinct de piété rationnelle et chrétienne qui apprit aux premiers maîtres des beaux-arts à revêtir les plus nobles objets de notre foi, et surtout l'idée qu'ils se formaient de la personne sacrée de Notre-Seigneur, des plus nobles formes du beau que pouvaient concevoir leurs esprits ou que pouvaient réaliser leurs mains. Il est, en un mot, difficile à l'être humain de s'endurcir au point de ne plus sentir l'impression aussi bien que le charme de la beauté. Toute forme de l'exis-

tence qu'on peut appeler naturelle, dans quelque sens que ce soit, en est susceptible.

Je ne sais pas si parmi les nombreuses espèces d'aberration de l'homme, il en est une qui l'endurcisse autant que la passion du gain quand elle est portée à son plus haut degré. Là où cette passion domine complétement, elle exclut toutes les autres. Elle bannit même ce qu'on pourrait appeler les infirmités rédemptrices, elle rend les hommes aveugles au sentiment du beau aussi bien qu'à la perception du bien et du juste. On pourrait citer des pays où règne l'âpreté du gain, et où le laid absolu est le principal caractère distinctif des produits de l'industrie. Je ne crois pas, d'un autre côté, qu'on puisse taxer d'extravagance quiconque avancera que la recherche de l'élément du beau dans le travail de la production agit sur l'esprit commercial avec une influence bienfaisante qui le corrige et le raffine; jusqu'à un certain point, c'est un préservatif contre quelques-uns des dangers moraux qui assiégent le commerce, la fabrication, et c'est avec raison que nous le considérons non-seulement comme utile, économiquement parlant, non-seulement comme contribuant à donner à notre travail un élément de valeur, non-seulement comme fournissant à l'une des facultés particulières de la nature humaine l'aliment qui lui est propre, mais encore comme une puissance généreuse, civilisatrice, et comme un instrument de progrès moral et social.

Ce serait vraiment chose étrange si, s'éloigner de propos délibéré de ce que nous savons être la loi de la nature dans sa sphère extérieure, était la voie qui dût nous conduire à nous conformer étroitement à ses lois les plus secrètes et les plus élevées. Mais n'allons pas nous imaginer que parce que l'amour du beau trouve en général place dans le cœur des hommes, il soit inutile d'en faire l'objet d'une attention toute spéciale, ou d'avoir recours à l'action de moyens spéciaux pour l'exciter et l'entretenir; après tout notre attachement au beau n'est qu'une affaire de degré, degré que l'expérience nous a prouvé avoir varié à l'infini suivant les différents lieux et les temps différents.

Nous ne pouvons faire renaître le siècle de Périclès ou de la Renaissance; mais il dépend de nous de décider si nous voulons avoir ou non le droit de réclamer une place dans leur famille, à quelque degré éloigné que ce soit. Ce à quoi nous sommes tenus,

c'est à avoir soin que tout ce que nous faisons soit dans son espèce et sa classe aussi bien fait que possible. Lorsqu'un jour M. Boswell demandait au docteur Johnson, que le Staffordshire devra toujours compter au nombre de ses plus illustres enfants, comment il était parvenu dans la conversation à une perfection extraordinaire, Johnson lui répondit que jamais il n'avait eu d'autre règle ou système que le suivant : toutes les fois qu'il avait quelque chose à dire, il essayait de le dire le mieux possible. C'est cette lutte perpétuelle pour arriver à la perfection chez les uns, et le manque d'énergie pour l'entreprendre chez les autres, qui plus que la différence originelle des facultés, contribuent à créer cette différence que nous remarquons dans les actes et dans le caractère des hommes. De pareils efforts sont d'autant plus rares en proportion que l'objet qu'on se propose est plus élevé, la récompense plus éloignée.

Dans l'application du beau aux produits d'utilité ordinaire, la récompense est généralement éloignée. Dans la production industrielle, il entre comme un nouvel élément de travail, et, comme tous les autres, cet élément doit être payé. Dans la dernière publication que la maison Wedgwood et Bentley a fait paraître sous le titre de Catalogue et qui renferme assurément de nombreux renseignements aussi justes qu'utiles sur les principes de l'art dans l'industrie, on s'explique clairement sur ce sujet. On y dit : « Il y a une autre erreur commune à ceux qui n'ont pas étudié profondément les difficultés d'un art donné. On leur entend souvent dire qu'un bel objet peut être fabriqué à aussi bon marché que celui qui est laid. S'ils réfléchissaient un instant, ils reviendraient de leur erreur. L'objet élégant sera toujours plus cher que celui qui est privé d'ornements, non que l'utilité ait été sacrifiée à la beauté, mais parce qu'il y a plus de main-d'œuvre et plus d'efforts. » Le fabricant donc, dont la pensée de chaque jour est et doit être de baisser le prix de ses produits, tâchant de se dispenser de tout ce dont il peut se passer, est souvent tenté de retrancher la beauté dans le prix de revient du produit. Ainsi, la loi de l'économie pèse durement sur les autres éléments plus délicats sur lesquels se base le commerce. Et cependant il peut être démontré que, dans ce cas-là comme dans d'autres encore, lorsqu'il s'agit, par exemple, de la durée et de la solidité, ce qui semble le moins cher d'abord finit par

être fort coûteux. Mais, de plus, la beauté est un élément qui, à mesure que la richesse se répand, est de plus en plus recherché et payé. La France est la seconde nation commerciale du monde, et si elle tient une si belle place sur les marchés étrangers, on peut sans crainte l'attribuer surtout à l'élégance réelle de ses produits; c'est ce qui établit, sous la forme la plus intelligible, que le goût a aussi sa valeur d'échange.

La violation de la loi naturelle par ces hommes à courte vue, qui ne recherchent que le bon marché, se fait bientôt cruellement sentir. On commence par trouver que la beauté est chose coûteuse. On refuse de payer les artistes qui la produisent, alors ils cessent d'être occupés et disparaissent. Bientôt on n'est plus satisfait de produits qui ne sont nullement ornés; on se trouve en face de demandes de décorations quelconques, qu'on ne saurait remplir si on a laissé mourir de faim les artistes qui connaissent les lois et les modes de cette production. Si nous remplaçons le goût par la rusticité, la qualité par la quantité, nous finirons par fabriquer des produits difformes à plus grands frais qu'il n'en eût fallu faire pour entretenir au milieu de nous un beau développement de l'art. Si le dommage que peut causer l'erreur est chose certaine, la récompense d'un jugement sain et d'une action bien entendue n'est pas immédiate, peut ne se rencontrer que dans un avenir qui peut tarder, cette récompense être éloignée. Aussi est-il sage d'appeler à notre aide tous les moyens d'action dont nous pouvons disposer. Parmi les meilleurs, nous devons placer la fondation d'institutions semblables à celle-ci. Elles ne fournissent pas seulement aux hommes de bonne volonté des moyens d'instruction, mais sont encore un témoignage rendu de siècle en siècle au principe sur lequel elles sont fondées. Elles transmettent à travers le sommeil et la nuit des mauvais temps la tradition des bons temps, toujours prêtes à indiquer la route qui conduit à la perfection lorsque l'aurore revient. Je suis profondément convaincu que cet institut sera digne de ses fondateurs et du but qu'on s'est proposé.

Mais occupons-nous d'une manière plus spéciale du caractère immédiat et de la vie industrielle de celui que je puis appeler notre héros. Son mérite le plus remarquable, celui qui le caractérise surtout, c'est la netteté de sa perception de la véritable loi de ce que nous appelons l'Art industriel, ou en

d'autres termes, de l'application de l'art le plus élevé à l'industrie.

La loi qui nous enseigne à chercher, avant tout, à donner à chaque objet le plus haut degré possible d'appropriation et de convenance, selon les usages auxquels il est destiné, se complète par celle de lui communiquer le plus haut degré de beauté compatible avec cette appropriation et cette convenance; loi qui ne substitue pas au but primitif le but secondaire, mais qui établit la nécessité d'établir l'harmonie entre ces deux éléments. Posséder à fond ce principe et lui faire produire tous ses résultats, dans les détails d'une fabrication immense et variée, suffirait à la gloire de tout homme, mais cette gloire fut encore plus grande chez Wedgwood que chez tout autre homme. Cette intuition de l'art qu'il voyait si clairement, et qui est l'un des fondements de la perfection, était rare en Angleterre; elle s'y rencontre rarement au même degré que ses autres grands et rares mérites. Notre pays s'est depuis longtemps placé à la tête des nations de l'Europe pour le bon marché de produits de ses manufactures. Mais il n'en a pas été de même pour leur beauté; et si jamais le jour arrive où elle soit reconnue aussi supérieure en fait de goût qu'elle l'est aujourd'hui en fait de bas prix dans la fabrication des produits de ses manufactures, je crois qu'elle ne sera redevable de ce résultat à personne autant qu'à Wedgwood.

Cette partie de mon sujet demande à être traitée avec quelque étendue.

Les facultés de l'homme s'exercent dans trois régions distinctes pour parvenir à la production des objets et à l'accomplissement des actes qui contribuent à la civilisation ou qui se rapportent aux usages ordinaires de la vie.

L'une de ces régions, c'est la sphère vulgaire de la simple utilité. On crée un produit d'abord dans quelque but d'utilité absolue ou d'usage immédiat. Ce qui est produit l'est pour sa valeur d'échange, pour un marché, un lieu et un jour. On ne s'attend pas à retrouver dans les mouvements du boueur la grâce de ceux d'une fée, ou dans la construction de son tombereau l'élégance de lignes du char de guerre grec. Ce n'est pas que même dans de semblables circonstances la beauté ne puisse trouver place.

Vient ensuite la sphère élevée de la pensée pure et des or-

ganes mis à son service, la sphère de la poésie et des arts les plus nobles. Là, la place de l'utilité se rétrécit, et la production du beau sous l'une ou l'autre de ses innombrables formes devient l'objet suprême, sinon l'unique. Je crois qu'on ne saurait nier que dans ces deux sphères, tout immensément séparées qu'elles sont, les facultés des Anglais ne soient du premier ordre, et que l'Angleterre ne soit au premier rang.

Pour ce qui est de la production économique, elle est à la tête de toutes les nations de la terre. Si dans les beaux-arts, dans la peinture, par exemple, elle doit se contenter de la seconde place, dans la poésie qui occupe un rang plus élevé que dans la peinture, elle peut hardiment défier toutes les nations de la chrétienté, et il n'en est pas une, si ce n'est l'Italie, qui puisse entrer sérieusement en concurrence avec la patrie de Shakspeare.

Je serai le premier à reconnaître que tout en jouissant de la supériorité dans la recherche de la beauté pure d'un côté, et de l'utilité absolue de l'autre, elle a été bien moins heureuse dans cette région intermédiaire où l'art se trouve mis en contact avec l'industrie, et où tous deux doivent se marier. C'est là une région immense et variée. En haut elle comprend l'architecture, art qui tout en offrant à la grâce et à la grandeur la plus noble carrière est intimement lié, ou du moins doit l'être, avec la convenance. En bas elle embrasse une très-grande partie des produits de l'industrie humaine. Tandis que tous les objets du commerce et des manufactures offrent de grandes différences sous le rapport de la convenance ou de l'appropriation, la majeure partie de ces objets admet probablement aussi des différences fondamentales sous le rapport de la beauté ou de la laideur. L'utilité ne doit pas être sacrifiée à la beauté; mais il y a généralement compatibilité entre elles, souvent et incontestablement elles se prêtent un mutuel secours. On peut, sans crainte de se tromper, assurer que les époques où l'on a négligé l'étude du beau ont été ordinairement marquées, non par une recherche plus heureuse de l'utilité, mais par une décadence générale dans les facultés de l'homme.

Dans la Grèce, l'époque la plus brillante de son histoire fut aussi celle de sa poésie et de son art classiques; et si nous considérons son architecture, nous ne savons ce que nous devons le plus admirer ou du beau porté au plus haut degré, ou de l'ap-

plication parfaite des lois du travail mécanique. Les arts en Italie furent le produit de sa liberté; ils périrent avec elle. Sous le rapport de l'art industriel, la France a acquis peut-être entre toutes les nations modernes la plus grande distinction, et il n'est pas de pays qui, à travers une longue suite de siècles, ait montré une activité plus variée ou obtenu plus de titres à la gloire.

Il serait facile de prouver que la réputation dont l'Angleterre a longtemps joui dans le monde commerçant, elle l'a plutôt due au bas prix de ses produits qu'à leur beauté. Il n'y a pas encore bien des années que dans quelques-unes de nos grandes branches de fabrication nous étions obligés de tirer nos modèles de l'étranger. Dans d'autres, notre travail n'offrait à la vue qu'une affligeante dépense de laideur variée. Quelques-uns de nous se rappellent encore avec quelle ardeur, il y a trente ou quarante ans, les dames anglaises faisaient venir de France, au moyen de la contrebande, des articles de vêtements ou d'ornement. Cette contrebande a cessé, en partie peut-être parce qu'il n'y a plus de droits à éluder, mais aussi parce que le désir d'acquérir s'est trouvé jusqu'à un certain point modéré par suite du progrès dans ce pays du goût appliqué à l'industrie. J'ai appris que pour quelques fabrications de tissus, dans ces dernières années, non-seulement il n'y a pas eu importation de modèles, mais qu'il y a eu exportation et échange. Sachons trouver dans ces faits un sujet de blâme pour nos pères et de louange pour nous.

On n'a pas suffisamment considéré les immenses désavantages qui sont résultés pour ce pays de la grande guerre de la révolution, sous le rapport de l'application des beaux-arts à l'industrie. Non-seulement une lutte à mort, dont le caractère était d'occuper entièrement les esprits, était défavorable à toute application de ce genre, mais nos moyens de communication avec le monde civilisé n'étaient pas libres et il nous était presque impossible d'avoir recours aux villes et aux pays qui possèdent le plus grand nombre de modèles que leur a légués une ancienne supériorité. On ne pouvait s'attendre à ce que les rois et les gouvernements, absorbés dans une lutte de vie et de mort, et ne pouvant la soutenir qu'au moyen d'énormes et continuels emprunts, détournassent une seule de leurs pensées ou une partie de leurs ressources de la guerre et de ses exigences im-

périeuses, pour les appliquer à ce qu'il y a de plus pacifique parmi les travaux de la paix. De quelque manière que j'envisage la chose, je regarde comme presque certain que l'époque de la guerre fut une époque d'abaissement progressif, de dégradation même pour l'art. Les produits de votre fabrication, par exemple, furent sous le rapport de la beauté inférieurs à ce qu'ils avaient été dans un autre temps; ainsi ceux de Worcester déclinèrent, et tandis que Wedgwood, dit-on, exportait les cinq sixièmes de sa fabrication, nous avions non-seulement perdu ce qu'il avait gagné sur les marchés étrangers, mais nous devions cette perte, en partie du moins, à notre décadence marquée en fait de perfection et de goût.

Après avoir considéré tout ce que l'Angleterre a fait d'un côté dans la sphère de la beauté, et de l'autre dans la sphère des produits utiles et à bon marché, ne serait-il pas non-seulement inutile, mais déraisonnable de supposer qu'il y a pour elle incapacité radicale et incurable d'exceller dans cette sphère intermédiaire où la beauté et les produits utiles et à bon marché se confondent, et où Wedgwood a acquis ces distinctions qui en ont fait, suivant l'expression de M. Smiles « l'illustre Wedgwood. »

Je ne crois pas qu'on doive considérer Wedgwood comme un phénomène qui serait aussi étranger à notre pays qu'une pierre météorique tombée du ciel, comme un heureux accident sans exemple et sans retour possible. L'apparition de pareils hommes dans l'histoire de l'industrie est chose rare, il est vrai, elle ne s'est peut-être présentée pour nous qu'une seule fois; car quel que soit le mérite des autres, celui de M. Minton en particulier, je n'oserais placer personne sur le même rang que Wedgwood, personne ne lui ressemble, personne, on pourrait presque le dire, ne peut être rangé après lui. Cependant la ligne qu'il a suivie est une ligne que tout homme, quel que soit son genre de fabrication, peut suivre comme lui; et comme il est de la sagesse de l'homme de se tenir en garde contre les erreurs qui l'assiégent de toutes parts, et chercher à se fortifier contre ses faiblesses, c'est l'étude et l'imitation de Wedgwood, l'observation des principes de Wedgwood, que, pleins de confiance, nous recommanderons à nos producteurs comme un remède spécifique pour ce qui est le côté faible de l'industrie anglaise. Notre

grande nation possède abondamment de l'imagination, des idées, du goût; les plus beaux développements de l'esprit s'y rencontrent sous toutes les formes. Toutefois elle possède un plus grand fonds encore d'habileté, d'invention mécanique, qui dépassant nos frontières va inonder le monde. Ce qui nous manque surtout, c'est d'établir l'harmonie entre ces deux groupes de qualités, et c'est là en quoi excella Wedgwood; excellence telle qu'elle conquit pour son nom dans l'histoire de l'industrie anglaise une place au-dessus de tous les autres noms, à mon avis, et une brillante renommée dans l'histoire de l'industrie du monde.

La première fois que nous faisons connaissance avec Wedgwood, c'est vers l'année 1741; il est le plus jeune d'une famille de treize enfants, et on lui fait gagner son pain à onze ans dans le métier de son père et comme aide-potier. Puis vient une attaque de petite vérole, maladie qui se porta sur la partie inférieure de la jambe et nécessita une amputation. Ce n'est pas souvent qu'il se présente pour nous une occasion palpable de reconnaître les obligations que nous devons à la petite vérole, mais par suite des voies surprenantes de la Providence, cette maladie qui vint l'attaquer comme un double fléau fut sans doute la cause de cette excellence qu'il devait plus tard acquérir.

Elle l'empêcha de devenir un ouvrier anglais actif et vigoureux, ayant tous ses membres, et sachant parfaitement s'en servir; elle le força à réfléchir si, ne pouvant être cela, il ne pourrait pas être autre chose, et autre chose de plus grand. Elle concentra sa pensée en lui-même et l'obligea de méditer sur les lois et les secrets de son art, et le résultat fut qu'il les conçut et les saisit d'une manière qu'eût peut-être enviée un potier d'Athènes et qu'il eût certainement reconnue. Une critique implacable a mis en pièces la vieille légende du roi Numa recevant dans une caverne de la nymphe Égérie les lois qui devaient gouverner Rome; mais nulle critique ne pourra s'attaquer au souvenir de cette maladie et de cette mutilation de l'enfant Josiah Wedgwood, qui lui firent de sa chambre à coucher une caverne, et de son esprit curieux, scrutateur, inventif et fécond, un oracle. A compter de ces premiers jours de souffrance, s'écoulant peut-être péniblement pour lui, mais assurément bril-

lants dans l'examen rétrospectif de ses débuts, sa carrière semble avoir été marquée.

Ceux qui se plaisent à raconter son histoire ont à regretter le manque d'un grand nombre de matériaux utiles. C'est presque une honte pour son pays et pour son art qu'on n'ait pas encore écrit la vie de Wedgwood.

Cet homme, cependant, d'après les mots heureux de son épitaphe, « transforma une fabrication grossière et peu considérée en un art élégant, en une branche importante du commerce national. » En partant pour ainsi dire de zéro, sans le secours des donations royales ou nationales qui furent jugées les soutiens nécessaires des célèbres fabriques de Sèvres, de Chelsea et de Dresde, il produisit des ouvrages plus en rapport avec les lois de l'art que les beaux produits sortis de ces établissements, et à peine moins appréciés par le goût public. Il trouva son industrie emprisonnée dans une étroite vallée par le manque de communications passables, et tout en consacrant les facultés de son esprit à relever cette industrie de sa laideur et de son infériorité pour la porter au plus haut degré de perfection sous le rapport de la matière et de la forme, il trouva encore en lui-même assez d'énergie pour prendre une belle part à de grands travaux du génie civil, comme ceux que nécessita l'exécution du grand canal de jonction de la Mersey et du Trent; ce canal rendit la matière première de son industrie abondante et peu chère, et fournit un débouché à ses produits en leur ouvrant une voie importante pour l'exportation. Enfin cet homme trouva son pays dans la dépendance des autres nations pour son approvisionnement en fait de poterie fine, et par ses seuls efforts il fit pencher la balance dans le sens contraire et répandit ses produits sur le continent européen tout entier. Depuis que je suis entré dans cette salle, j'ai reçu une lettre dans laquelle se trouve la citation suivante tirée du « Voyage en Angleterre » d'un Français, M. E. Saint-Fond. Il dit en parlant de Wedgwood : « L'excellence de ses produits, leur solidité, l'avantage qu'ils possèdent de résister à l'action du feu, leur beau vernis inattaquable aux acides, la beauté et la variété de leurs formes et la modicité de leur prix, ont créé un commerce si actif et si universel que de Paris à St-Pétersbourg, d'Amsterdam au point le plus reculé de la Suède, de Dunkerque au fond de la France, on est servi dans

toutes les auberges en poterie anglaise. Ce bel article orne aussi les tables en Espagne, en Portugal et en Italie; on en charge des navires pour les Indes orientales et occidentales et pour l'Amérique. » Il est étonnant que la vie d'un pareil homme, chez une « nation de boutiquiers, » comme on nous appelle, n'ait pas encore été écrite; mais j'ai appris avec beaucoup de plaisir qu'on disait, et j'espère qu'on disait vrai, qu'un semblable vide dans notre littérature est sur le point d'être comblé.

Tout ce que nous savons de la vie de Wedgwood nous paraît éminemment caractéristique. Nous le voyons dès les premiers temps de sa jeunesse imprimer déjà par ses ouvrages un nouveau caractère à son industrie, le caractère de ce qu'on pourrait appeler la bonne qualité unie au goût reposant sur sa base la plus vraie, l'amour et l'imitation simple de la nature. Nous le voyons commencer ses associations au moment où il atteint l'âge viril, d'abord avec Harrison, puis avec Whieldon; mais, comme nous devions naturellement nous y attendre, lorsqu'il s'agit d'un esprit aussi énergique et aussi étendu, dans ces deux circonstances le lit se trouva trop étroit, il ne put s'y retourner; et en 1759, aussitôt que le temps de l'association fut expiré, il secoua le joug et entreprit seul les affaires. Quoique cette détermination fût naturelle, ce n'était pas là qu'il devait s'arrêter. Il était nécessaire que celui qui était l'âme fût aussi le centre et la tête; mais il était nécessaire aussi qu'il s'entourât d'hommes apportant une collaboration efficace dans une œuvre grande, variée, non-seulement réformatrice, mais créatrice. Aussi s'associa-t-il M. Richard Bentley, qu'on prétend avoir été principalement chargé des affaires à Londres, mais à qui revient l'honneur d'avoir fourni à la Compagnie les renseignements nécessaires pour traiter largement les œuvres classiques. Aussi occupa-t-il Chisolhm comme chimiste expérimentateur, et d'autres savants dans les diverses branches de son industrie. De là, encore, ses rapports avec Flaxman, source d'honneur pour tous deux.

C'était autrefois une mode de dire qu'il n'était pas prouvé que la reine Élisabeth fût une femme d'une puissance intellectuelle extraordinaire, mais qu'elle avait gouverné avec une grande habileté; et il est des personnes qui, voyant Wedgwood ainsi entouré, pourraient être tentées de penser que son mérite n'a consisté qu'à bien choisir ses instruments et ses collabora-

teurs, et qu'à eux revient la principale part de gloire. Quelle fut la part respective que Bentley et les autres prirent à la grande œuvre de Wedgwood? C'est une question intéressante sur laquelle j'espère que nous ne tarderons pas à être mieux renseignés que nous ne le sommes aujourd'hui. Il est évident que dans une entreprise aussi étendue et aussi variée, il devait et il a dû y avoir, outre le chef, plusieurs aides d'un mérite suffisant pour qu'on en conserve le souvenir. Pour ce qui est de Flaxman, la tâche n'est pas difficile; malgré l'action du feu qui défigure et altère tout, les ouvrages de ce grand dessinateur parlent encore assez par eux-mêmes. Imiter Homère, Eschyle ou le Dante serait à peine une tâche plus difficile que d'imiter l'artiste qui les a illustrés. Je suis cependant des premiers à ne pouvoir accepter la doctrine de ceux qui voudraient qu'on attribuât à Flaxman tout le mérite du caractère des produits de Wedgwood, considérés comme œuvres d'art, et cela pour plusieurs raisons. D'abord, parce que nous connaissons ses premiers efforts, le travail de ses mains qui prouve un but élevé et une force qui transporte un simple travail manuel jusque dans les régions de l'art plastique, et de plus, l'incident remarquable rappelé dans l'histoire du bourg où il façonna lui-même les premiers échantillons du vase noir étrusque, pendant que Bentley mettait le tour en mouvement. En second lieu, parce que le même esprit qui présida à la production du vase Portland ou Barberini, ou à celle des plus belles *plaques* d'ornement, présida aussi à celle non-seulement des *déjeuners* et autres articles de luxe destinés aux riches, mais même aux objets communs et de bas prix de la compagnie. Le développement s'opéra sous des formes variées, mais un seul et même principe domina constamment tout l'ensemble de sa fabrication. En troisième lieu, parce qu'il est évident que Wedgwood fut non-seulement un industriel actif, soigneux, à idées justes et élevées, entreprenant; non-seulement en un seul mot un grand manufacturier, mais encore un grand homme. Il possédait cette force, cette forme de vrai génie que nous sommes souvent à même de reconnaître chez nos ingénieurs, mais que les chefs immédiats dans l'industrie, dans l'agriculture, la fabrication ou le commerce, ont plus rarement montré.

Il serait tout à fait inutile de s'appesantir sur la supériorité de ceux des ouvrages de Wedgwood qui rentrent dans la classe

de l'art proprement dit, et non dans celle des articles d'un usage ordinaire. Le monde entier leur a rendu justice. Il suffit de dire, d'une manière générale, qu'on peut les considérer en partie comme des imitations, et en partie comme des reproductions de l'art grec. Comme imitations, ils nous reportent vers la source la plus pure. Comme reproductions, ils n'ont pas la même destination que leurs originaux, mais ils sont conçus dans cet esprit libre et fécond qui présida à la création des objets avec lesquels ils ont des rapports de parenté. Mais ce n'est pas dans une imitation, une représentation heureuse des œuvres de l'art que se trouve réellement, suivant moi, la spécialité de Wedgwood; c'est dans la résurrection d'un principe, le principe de l'art grec; c'est dans la conception et la conquête de l'unité et de la portée de ce principe. Ce principe, selon moi, consiste, après tout, dans la convenance parfaite de chaque objet matériel au but qui lui est propre. Si ce but est seulement la décoration, le beau, alors on ne s'occupe que de la production du beau, et l'on n'en accepte que les plus nobles modèles. Si le but est la production d'un article d'usage ordinaire, essentiellement périssable, le dessinateur et le producteur doivent se proposer plusieurs fins. L'article doit d'abord, et avant tout, être autant que possible convenable à son usage; autant que possible aussi d'une matière durable et du prix le plus modéré; puis recevoir toute la beauté qui peut s'accorder avec son utilité et y contribuer; il faut établir enfin l'harmonie entre l'utile et le beau, chose si commune dans les œuvres de la nature, mais qui présente de grandes difficultés, et ne peut être obtenue qu'à l'aide de soins constants d'une nature toute spéciale. Wedgwood, dans ses travaux, s'est habituellement conformé à ces principes. Dans sa recherche du beau, il ne négligea ni la valeur commerciale, ni l'utilité pratique. Il ne pouvait négliger la première, parce qu'il lui fallait vivre de son travail, et ce fut à l'aide du profit tiré de la vente constante de ses articles les plus humbles qu'il put supporter les risques et les frais de la fabrication de ses plus beaux produits. Le commerce fit pour lui ce que les rois de France firent pour Sèvres, et le duc de Cumberland pour Chelsea; il lui fournit seul les fonds dont il avait besoin.

Je ne crains pas de dire que les produits les plus humbles de Wedgwood se distinguent autant par leur parfaite convenance

pour leur destination que ses œuvres les plus brillantes par une application heureuse de l'art le plus élevé. Prenez, par exemple, ses assiettes communes, de la valeur de quelques pence chaque; elles s'ajustent l'une dans l'autre avec la régularité d'un jeu de cartes. Quant à moi, je n'ai jamais vu d'assiettes s'empiler les unes sur les autres comme celles de Wedgwood; elles forment une masse solide. Cette régularité doit, selon moi, en rendre le transport plus sûr. Nous avons comme preuve de la supériorité de ces assiettes qu'elles furent l'objet d'une énorme exportation pour la France particulièrement; on les y décora à l'aide d'impressions ou plutôt de peintures représentant des monuments ou des paysages de ce pays, et elles en ressortirent ensuite comme produits de fabrication française. Prenez le pot à l'eau fabriqué par lui au plus bas prix. J'ai vu de ces pots faits de la matière la plus commune employée dans la fabrication; mais, au lieu d'être construits comme les pots plus à la mode de fabrication moderne, de manière à ce qu'une cigogne ne saurait y introduire le cou, et qu'on ne peut en verser l'eau sans risque de se fouler le poignet, ils sont construits dans une forme simple, qui répond à une grande capacité, dont les courbes sont élégantes; ils sont larges au sommet et tellement équilibrés qu'il suffit d'un léger mouvement de la main pour en faire couler l'eau. Un plat rond à fromage présente ordinairement à sa face de dessus une partie plate entourée d'un rebord recourbé; mais le plat à fromage de Wedgwood se reconnaît facilement à ce que la partie plate l'est d'une manière si absolue, et que sa courbure est une courbure si prononcée et si hardie qu'elle présente à l'œil une ligne agréable et bien définie, et en même temps le fromage y trouve tout l'espace nécessaire. Je suis convaincu qu'un fromage de Wiltshire, s'il pouvait parler, se déclarerait infiniment plus à l'aise dans un plat de Wedgwood que dans tout autre.

Maintenant, je parlerai de certains encriers ronds de Wedgwood, qui se trouvent décrits dans la vingt et unième section de son catalogue. Il a été apporté un grand soin à l'arrangement mécanique de ces encriers, tant en vue de la conservation de la plume que de la propreté et de l'économie de l'encre. Les prix varient de six pence à huit shellings, suivant la dimension et le fini. J'en ai un, non pas noir comme ceux mentionnés dans le catalogue,

mais blanc. Je pense qu'il a dû être mis en vente au prix d'un shelling ou moins encore. Il porte un ornement léger formé d'une simple ligne qui relève agréablement une forme d'ailleurs assez monotone. Il y entre tant de goût qu'il ne déparerait pas une collection; il est si simple qu'il convient à un comptoir. Il est sans prétention. Tous les produits de Wedgwood, depuis les plus simples jusqu'aux plus beaux, ont horreur de la prétention. Wedgwood semble toujours avoir en vue un type d'excellence indéfiniment élevé. Il ne tombe jamais ni dans l'extravagance ni dans l'excès. Je ne veux pas dire que tous les produits de ses fours soient également satisfaisants, mais je suis convaincu qu'il est facile, même à l'aide de ses produits à bas prix et les plus simples, de prouver qu'il fut véritablement un homme de génie, profondément pénétré des meilleurs principes de l'art.

J'ai parlé des produits de Wedgwood du plus bas prix et de ceux du prix le plus élevé. Disons maintenant un mot de ceux qui occupent un rang intermédiaire. Quelques-uns me semblent être absolument sans défauts dans leur genre, et démontrer aussi heureusement que les restes de l'art grec à sa meilleure époque, le mode et le degré de combinaison possible du beau et de l'utile dans l'industrie. Je possède un *déjeuner* couleur ardoise, de la matière qu'on appelle, je crois, jaspe. Il me paraît un modèle parfait. Le plateau est un court ovale, excessivement léger, dont la surface est aussi douce au toucher que la chair la plus fine, ayant pour ornement un simple rouleau de ruban blanc, très-gracieux dans ses plis et nuancé par un effet de transparence partielle. La surface des diverses pièces est à côtes; et on y voit reparaître le même rouleau de ruban, pendant qu'elles ont, pour principal ornement, quatre petites feuilles blanches. Ces quatre feuilles sont de dimension variable, en raison de la grandeur des diverses circonférences, et sont exécutées avec un rare sentiment de la nature, et une précision qui ferait honneur à un joaillier.

Je bornerai là mes observations sur les spécimens particuliers du travail de votre grand maître; mais permettez-moi de hasarder encore quelques mots sur les qualités générales de son industrie et de ses produits. Il semble évident que, bien que dans sa jeunesse il n'eût pas été élevé pour l'art, il a fait son éducation au milieu des occupations actives de la vie. Son Traité sur

le pyromètre prouve qu'il avait étudié ou acquis d'une manière quelconque la science applicable à son art. Ce qu'il a écrit sur le vase Barberini montre qu'il s'était mis en état de traiter l'antiquité classique. Mais il n'est rien qui caractérise davantage son esprit que la fermeté avec laquelle, à la fin de son catalogue, il déclare les intentions de la compagnie quant aux produits à bon marché. Il explique, comme je l'ai déjà dit, que l'extrême bon marché se rencontre difficilement avec la grande beauté; puis il compare ses prix à ceux de ses concurrents, et termine son apologie dans des termes qui font le plus grand honneur à la compagnie, en déclarant positivement : « Qu'elle est résolue à renoncer à la fabrication de tout article, quel qu'il soit, plutôt que de l'avilir. » Preuve manifeste, je crois, que le commerce peut aussi offrir quelque chose qui ressemble à de l'héroïsme. A cette déclaration hardie adressée au monde venait se joindre dans l'enceinte des murs de sa fabrique le sacrifice impitoyable des articles défectueux, sacrifice qui a fourni, dans plusieurs cas, aux collectionneurs, un moyen sûr de reconnaître le travail authentique de Wedgwood. La légèreté des produits de Wedgwood, qui est non-seulement un élément d'élégance, mais de durée ; la dureté et la solidité de la matière, l'uni et la douceur au toucher des surfaces, la faculté dont ils jouissent de résister à la chaleur et aux acides, le nombre et la variété de ces produits, comme formes, dimensions et coloration, cette dernière surtout remarquable dans ses vases, son emploi si nouveau des reliefs dans la faïence moderne, toutes ces choses sont des caractères distinctifs que je me contenterai de nommer.

Il y a cependant encore deux autres points qui me frappent : l'un, c'est le caractère général de ses couleurs ; et l'autre, son mérite comme rénovateur des formes des produits céramiques. Le caractère général de sa couleur peut être défini comme étant une grande sobriété inspirée de l'antique dont elle est l'imitation exacte. Il ne s'essaya pas dans le champ entier de la fabrication de la porcelaine. Ce qui est peut-être la partie la plus noble et la plus difficile de cette industrie, le modelage de la forme humaine, il l'essaya rarement, s'il le fit jamais ; et ce n'est pas chez lui qu'il faut chercher le brillant et la variété des couleurs et des sujets, et les effets éclatants produits par des fonds d'un bleu foncé. Je ne connais pas d'exemple où il ait employé

les couleurs éclatantes. Il a, avec un goût admirable, revêtu des vases d'un beau vernis, mais je crois que généralement le fond est une variété du gris ou du vert. Il n'a pu cependant demeurer insensible aux couleurs obtenues à Sèvres ou à Chelsea. Lorsque nous reconnaissons un caractère distinctif général dans les ouvrages d'un homme comme Wedgwood, nous pouvons facilement supposer que ce caractère avait sa raison d'être. Il est possible ou plutôt probable que la raison de la réserve ou de la sobriété des couleurs chez Wedgwood se trouve dans la sévérité classique de ses formes.

J'espère qu'on ne m'accusera pas de présomption si j'énonce l'opinion que les formes d'un très-grand nombre des vases les plus riches et les plus brillants sortis de Chelsea, et même de Sèvres, dans le siècle dernier, ont été peu satisfaisantes; quelquefois bizarres, souvent lourdes et sans grâce, rarement heureuses au point de vue de l'harmonie nécessaire entre les anses et le vase, et en somme peu conformes aux lois de l'art, peu dignes de la matière employée, des belles couleurs, du dessin, de la composition et de la dorure qu'offre si souvent leur ornementation. En comparant les formes de ces vases avec celles des vases de Wedgwood, bien que ces dernières aient sans doute souffert sous le rapport de leurs plus belles proportions, d'un retrécissement par l'action du feu, je crois qu'il est impossible de ne pas être frappé de sa supériorité, et de ne pas penser que sa vie ne constitue rien moins dans la fabrication céramique qu'une ère nouvelle sous le rapport de la forme. On a de la peine à ne pas croire que son œil doit avoir remarqué, et sous ce rapport condamné la mode dominante, et que c'est avec une résolution ferme que Wedgwood chercha et réussit à offrir au monde un type de perfection.

Jusqu'ici on connaît peu de chose du caractère personnel de Wedgwood, en d'autres termes de sa vie privée; mais je ne puis que juger d'une manière favorable celui qui sous tous les aspects qui s'offrent à la vue du monde semble avoir été constamment admirable. Dans le but que nous nous sommes proposé aujourd'hui, nous n'avons à le considérer que comme maître, ce qui est un sujet d'un intérêt plus qu'ordinaire dans un moment où un si grand nombre de compagnies, les plus distinguées du district, ont elles-mêmes, de la manière la plus louable, appelé

l'attention de l'autorité publique sur la condition de leurs jeunes ouvriers, afin d'obtenir l'aide bienveillante de l'intervention législative pour améliorer leur instruction. Au fait, nous pouvons dire, de la haute question du peuple, ce que nous avons dit de la condition du beau dans la fabrication. La demande du bon marché pèse lourdement sur lui avec toutes ses exigences, et cependant rien de ce qui abaisse la condition morale ou physique du peuple au-dessous de ce qui suffit aux besoins de la vie et de la santé ne peut en définitive être bon marché.

Dans l'année 1769, lorsque Wedgwood prenait part aux travaux du canal de grande jonction, qu'il élevait sa fabrique et établissait sa colonie à Etruria, Goldsmith publiait son admirable poëme du *Village abandonné*, qu'avec un étrange caprice il fonda sur l'idée creuse que c'était la tendance du commerce de dépeupler le pays. Il dit :

Malheur au pays, en proie aux maux qui accourent en foule, où la richesse s'accumule et où les hommes diminuent.

Il ne veut pas seulement dire que des industries mal réglées peuvent être nuisibles, car après avoir décrit le bonheur des champs, il commence ses lamentations :

Mais les temps sont changés, le cortége impitoyable du commerce usurpe les champs et dépossède le laboureur.

Ce qu'il y a de plus étrange, c'est qu'il associe cette substitution des villes aux villages avec la diminution de la population.

S'il court à la ville, à quoi doit-il s'attendre? A voir une profusion qu'il ne peut partager. A voir dix mille arts funestes ligués pour gorger le luxe et éclaircir les rangs de l'humanité.

L'art de Wedgwood ne me semble véritablement pas un de ces « arts funestes. » Écoutez M. Smiles exposant la manière dont Wedgwood éclaircit les rangs de l'humanité :

« Ce district à demi sauvage, ayant une faible population d'environ 7,000 habitants, occupés en partie seulement et mal rémunérés, nous le retrouvons vingt-cinq ans plus tard avec une population triplée en nombre, ne manquant jamais de travail, prospère et jouissant d'un bien-être réel.

Et cette multiplication fut féconde en améliorations de tout

geure, car le même M. Smiles cite de John Wesley, qui avait été reçu, à Burslem, à coups de pierres, en 1760, ces paroles remarquables :

« Je suis retourné à Burslem. Comme toute la face du pays a changé dans un espace d'environ vingt années, depuis que les habitants ont continué à y affluer de tous côtés, depuis que la solitude est devenue à la lettre un champ fertile ! Des maisons, des villes, des villages se sont élevés, et l'amélioration du peuple est tout aussi grande que celle de la contrée. »

Il est impossible de rendre à Wedgwood un témoignage plus honorable, et je ne puis mieux terminer ces remarques qu'en exprimant le cordial espoir que vous, ses successeurs, qui dans ces dernières années avez obtenu tant d'honneur par les progrès du goût et de l'industrie de cette contrée, vous profiterez de plus en plus des leçons que vous a léguées votre grand précurseur, et que vous trouverez une importante part de votre récompense en voyant autour de vous une population prospère, contente, bien portante et heureuse.

EXPOSITION

DES ARTS INDUSTRIELS

AU PALAIS DE L'INDUSTRIE

Rapport sur les Écoles de dessin

PAR M. H. TRESCA.

Une nouvelle Exposition des objets d'art industriels, due comme la première à l'initiative privée, vient d'avoir lieu au palais de l'Industrie. Beaucoup plus importante que la première au point de vue du nombre et de la variété des objets, elle se faisait en outre remarquer par une exposition spéciale des dessins envoyés par les diverses écoles. Aucune question ne saurait avoir un plus grand intérêt d'actualité que celle de l'enseignement général du dessin aux jeunes gens qui sont ou qui doivent être engagés dans les profession industrielles.

Interprète des opinions formulées au sujet de ces travaux par les hommes les plus compétents qui faisaient partie du jury spécial de cette partie de l'Exposition, il nous a semblé qu'il y avait quelque intérêt à faire connaître les appréciations auxquelles l'examen des produits a donné lieu.

En donnant la liste complète de ceux des membres du jury qui ont pris part aux délibérations, nous donnerons à ce travail un plus haut degré d'intérêt. Ce jury était composée de MM. Boirreaux, Ch. Brouty, Burty, Chabal Dussurgey, Davrond, Delamarre, Dietesle, Gattiker, Guichard, Klagmann, Le Begue, Nan-

teuil, Rohault de Fleury, Silbermann; Vinet et Tresca, président et rapporteur.

Il y a tout lieu d'espérer qu'à l'Exposition prochaine le nombre des écoles qui enverront les travaux de leurs élèves sera plus nombreux, et qu'elles représenteront avec plus d'ensemble l'enseignement du dessin industriel dans les branches diverses.

L'Exposition des écoles de dessin, qui fait en ce moment partie de celle des produits réunis au Palais des Champs-Élysées, ne pouvait présenter un plus grand caractère d'opportunité. L'extension de cet enseignement, déterminée en Angleterre, sous l'impulsion de l'enthousiasme excité par les produits français, aux expositions universelles de 1851, de 1855 et de 1862, a donné lieu, l'année dernière, à des observations critiques, fondées dans une certaine mesure, et a motivé chez nous un grand nombre de plaintes sur l'état d'atonie dans lequel cette question importante serait restée en France, au grand préjudice de l'avenir de notre industrie.

Sans doute il ne faut pas rester indifférent à ces efforts; sans doute il convient de stimuler chez nous la même ardeur et les mêmes progrès, mais il nous sera permis de le dire, on a peut-être exagéré le mal pour imposer avec plus d'autorité le remède; et pour nous, qui voulons voir les choses telles qu'elles sont, et qui désirons, avant tout, étudier en parfaite connaissance de cause, les cinquante-deux écoles qui ont pris part au concours tendraient à nous rassurer beaucoup sur les forces considérables dont nous disposons; leurs travaux nous permettront d'indiquer, d'une manière à la fois plus équitable et plus sûre, les raisons qui nous assurent pour l'avenir cette même prépondérance qu'aucune nation importante ne cherche à nous disputer dans le passé de l'art industriel; la Bavière seule apparaît jusqu'ici avec un caractère qui lui soit propre et qui doive attirer notre attention.

La question de l'enseignement du dessin se lie si intimement aux progrès de nos industries artistiques, qu'il importe d'exa-

miner avant tout si cet enseignement se généralise dans une proportion *suffisante*, et si les futures générations se préparent à la lutte dans des conditions favorables, soit au point de vue du nombre, soit au point de vue du développement des aptitudes, dans le milieu essentiellement élégant de notre population française.

L'Angleterre fait d'immenses sacrifices pour étendre l'enseignement du dessin ; ces sacrifices, elle les porte surtout, avec le sens essentiellement pratique de cette nation, sur le bon choix des modèles ; elle a fait sous ce rapport, dans ces dix dernières années, beaucoup plus et beaucoup mieux que nous. Mais si nous avons moins dépensé, avons-nous pour cela moins produit? Nos meubles, nos bronzes, notre bijouterie, étaient-ils donc en 1862 inférieurs à ce qu'ils étaient dix ans plus tôt, et nous a-t-il été refusé, cette fois plus que l'autre, de reconnaître, pour ainsi dire à première vue, dans l'exposition anglaise, les produits exceptionnels qui dénotaient, parmi les plus beaux produits étrangers, la main de nos artistes industriels, ou l'origine plus ou moins française du dessin et de l'exécution.

La grande manufacture et l'absence de critique artistique pèseront encore pour longtemps sur la fabrication des objets d'art industriel de l'Angleterre. Et si, sur le premier point, la transformation de nos ateliers peut nous laisser quelque inquiétude, les relations, chez nous plus intimes entre l'artiste et le fabricant, entre le marchand et la femme du monde, constitue une sorte d'enseignement mutuel à l'influence duquel tous les enseignements méthodiques et trop systématisés de nos voisins auront grand peine à atteindre.

Privés de ces relations qui retrempent leur verve, nos artistes industriels les plus habiles, appelés par les avantages qui leur sont offerts, s'étiolent bientôt et pâlissent sous les brumes de la Tamise, nous dirions presque sous l'influence de la vie trop facile et par trop lucrative qui est assurée de l'autre côté du détroit à toute supériorité.

Ayons confiance dans les conditions plus favorables de notre organisation sociale, car cette confiance est déjà une cause de succès; et sans nous désespérer de l'avenir, voyons froidement ce que valent nos ressources, ce que vaut ce génie national que nous ne consentirons pas à coup sûr à échanger contre aucun

autre; cherchons seulement, sans nous surfaire, mais sans abdiquer, comment nous pourrons le mieux utiliser nos avantages, comment il convient de les diriger.

Nous sommes loin de croire qu'au point de vue de l'art industriel, nous n'ayons rien à organiser; mais tout n'est pas non plus à refaire, et nous pourrions facilement le reconnaître en passant en revue les tendances, suivant nous, très-saillantes, que présente notre exposition, surtout en ce qui concerne la généralisation de la pratique du dessin.

L'enseignement du dessin doit présenter un caractère différent selon le but qu'il s'agit d'atteindre; il ne doit pas être le même pour l'artiste et pour l'ouvrier; il doit différer selon qu'il s'adresse à l'intelligence à peine ouverte de l'enfant, ou à l'imagination de l'homme fait.

Nous nous occuperons d'abord de l'étude du dessin, considéré comme un accessoire des études générales, en commençant par l'école primaire.

ÉCOLES PRIMAIRES.

Le dessin est la langue universelle par excellence; son langage est plus instinctif, plus sûr et plus précis qu'aucun autre; sans lui l'industrie n'existerait pas, et l'on peut dire hardiment que l'on mesurerait avec quelque raison la puissance industrielle d'une nation à la mesure du développement donné à la pratique du dessin.

Les artistes, plus exclusivement préoccupés de la forme et des satisfactions qu'elle leur procure, ne tiennent peut-être pas un compte suffisant de cette utilité pratique, qui, en dehors même de l'art, fait de l'enseignement du dessin une des obligations les plus essentielles des sociétés modernes.

Nous aurons à rechercher, dans les produits dont l'appréciation nous est soumise, ce large côté de la question : nous verrons dans quelle mesure et par quels moyens ce besoin est satisfait, et nous chercherons à nous assurer si les procédés mis en œuvre sont assez intelligents pour développer en même temps le goût de la forme; pour éveiller le sentiment du beau; pour exciter des

vocations en assez grand nombre, et pour assurer à l'avenir de l'art industriel ses compositeurs et ses artisans.

Parmi les cinquante-deux expositions que nous avons à passer en revue, le plus grand nombre appartiennent aux écoles primaires, et aux écoles primaires supérieures. Le dessin n'y est enseigné qu'à des heures éloignées et pour ainsi dire comme un accessoire; il devient cependant, dans beaucoup de cas, l'annexe obligé de tout enseignement professionnel.

Malheureusement cet accessoire est plutôt dirigé de manière à donner satisfaction aux parents qui veulent des images, et la plupart de ces dessins reproduisent, tant bien que mal, ces estampes que la lithographie livre à si bas prix, et qui souvent, mal exécutées, n'ont aucune des qualités qu'il convient de rechercher dans un modèle

Mis en présence de difficultés insurmontables, ne comprenant rien ni aux plans, ni aux ombres, l'enfant copie machinalement sans se rendre compte, et il est le plus souvent satisfait, lorsque, sans s'attacher à la forme générale et à la pureté des contours, il est parvenu à placer dans un espace donné le même nombre de hachures, ayant à peu près la même grosseur et la même inclinaison que sur le modèle.

La famille paye; elle veut diriger; elle exige que l'enfant dessine la figure, parce qu'elle a entendu dire que c'est en ce genre seulement qu'on peut acquérir quelque réputation; le maître n'aurait point d'élèves s'il ne sacrifiait à ces petits amours-propres, parce que la leçon de dessin n'est pas obligatoire, et quelle se paye à part.

Si ces appréciations sont exactes, il ne faut pas s'étonner que les tendances soient meilleures dans les établissements entièrement gratuits, et le jury est resté frappé des efforts et des succès qui ont été obtenus sous ce rapport par les frères de la doctrine chrétienne à Paris et ailleurs.

Beaucoup de ces établissements sont encore voués à la copie de certains sujets lithographiés qui sont bien loin d'être irréprochables; mais à côté de cette fausse direction, on en voit poindre une autre, en quelque sorte magistrale et logique, qu'il importe de signaler à l'attention de toutes les personnes qui s'intéressent à la question de l'enseignement primaire.

C'est surtout dans l'établissement de Saint-Nicolas, situé

rue Vaugirard à Paris, que la méthode exposée par le frère Victoris devant le jury paraît avoir été appliquée avec le plus de soin.

L'établissement de Saint-Nicolas est une véritable école primaire, soumise au régime de l'internat. Le prix de la pension est très-modique et attire un grand nombre d'enfants appartenant à la population ouvrière; le nombre des élèves n'est pas inférieur à six cents, en comprenant dans ce chiffre les apprentis des ateliers spéciaux dont il sera question dans une autre partie de ce rapport.

Ces élèves dessinent l'ornement et font de petites épures dont les sujets sont puisés autant que possible dans les objets usuels.

Pour l'ornement, le frère Victoris a composé de petits cahiers qu'il appelle l'*alphabet* de l'ornement, et qui contiennent sur chaque feuille un modèle élémentaire d'objets très-simples : un fer de lance, une pique, un culot empruntés à de bons morceaux d'études. Ces cahiers sont destinés à être remplis par les enfants qui doivent imiter le trait du modèle, et les effets très-simplement accusés qui indiquent les courbures et les plans de l'objet représenté. Seize modèles assez bien gradués composent un cahier du prix de vingt centimes, sur lequel est réservée la place nécessaire pour quarante dessins d'ornements désignés avec soin par leurs noms, et au besoin par ceux des parties qui entrent dans leur composition.

Dans les premiers essais qui ont été faits de ces exercices pour l'enseignement des élèves externes, les petites copies sont faites le soir, dans la famille, et les enfants de huit à dix ans mettent à leur exécution un certain amour-propre et un réel intérêt. Destinés à donner l'habitude du premier coup de crayon, ces exercices seraient suivis de cahiers un peu plus difficiles avec motifs, encore simples toutefois, et pour la plupart empruntés à la sculpture sur bois et aux travaux de la serrurerie ornée. En ce qui concerne les tracés géométriques, la plus grande difficulté consistait à transformer les conseils isolés du maître en leçons communes, s'adressant à un grand nombre d'enfants; voici comment on opère avec certitude dans des divisions formées de cent ou même de cent cinquante élèves.

Les objets à dessiner sont simples ; ils sont représentés, en croquis et à échelle réduite, sur une feuille qui porte les noms de tous les détails qui entrent dans la construction. Un grand dessin est affiché dans la salle, sous les yeux de tous, afin que les élèves puissent y recourir en cas d'incertitude. Toutes les fois que cela est possible, l'objet en relief est en outre placé sous leurs yeux, et tous simultanément dessinent cet objet, soit en projection orthogonale, soit en perspective.

Parmi les modèles qui nous ont été montrés, nous avons successivement remarqué une ferme en charpente, une porte et une niche appareillée en maçonnerie, une colonne d'ordre dorique, une porte en menuiserie avec tous ses assemblages et quelques autres modèles. Tous ces modèles en nature sont formés par la juxtaposition des diverses parties qui les composent, disposées de telle manière que, par leur séparation, on puisse immédiatement voir les détails des coupes horizontales et verticales les plus importantes ; au bout de quelques séances, les enfants ont assez bien compris les principes de ce mode de représentation pour qu'ils puissent appliquer les mêmes éléments de construction à des dessins différents et résoudre ainsi, par eux-mêmes, de petits problèmes de la pratique usuelle. Tous les objets sont bons pour cet enseignement, et dans les localités où les modèles viendraient à manquer, les enfants eux-mêmes suppléeraient à cette insuffisance en apportant, à tour de rôle, les outils de la profession de leurs pères.

Une étude de tréteau est des plus intéressantes. On a fait graver, à la grandeur même du modèle et en forme d'épure de géométrie descriptive, la projection horizontale, la projection verticale et une projection de rabattement, sur une même feuille de papier que l'on replie à angle droit, d'abord autour de la ligne de terre, ensuite autour de la trace du plan auxiliaire de rabattement. Les choses ainsi disposées, on met l'objet lui-même dans la position qui convient au mode de projection adopté, et les cent élèves, tous à la fois, dessinent cet objet, en projection et même en perspective, suivant les cotes de son croquis et la position qu'il occupe lui-même par rapport au modèle en relief.

Les dessins qui nous ont été montrés font bien voir que les élèves ont compris, et si un certain nombre d'objets usuels

étaient étudiés dans les mêmes conditions, on serait tout étonné de trouver chez des enfants de dix à douze ans, avant leur entrée en apprentissage, des notions générales sur la représentation des solides, sur l'emploi des cotes et des projections, suffisantes pour les guider dans un grand nombre de professions.

Quand on songe que les frères des écoles chrétiennes instruisent en France un si grand nombre d'enfants, et qu'ils font de tels efforts pour approprier le mieux possible leur enseignement aux besoins de la société moderne, il ne faut point hésiter à dire, au risque de les blesser dans leur humilité, au risque même de heurter certains préjugés, qu'ils rendent au pays de grands services par cette vulgarisation des éléments du dessin.

Les autres écoles primaires sont, à en juger par les produits exposés, presque entièrement déshéritées sous ce rapport; et, à l'exception de l'école communale de M. Barbier, où l'on remarque quelques tendances vers l'étude de l'ornement, et vers le dessin des machines, et où le jury a rencontré quelques cartes géographiques d'une belle et bonne exécution, il lui est impossible de ne pas signaler dans les écoles analogues l'absence complète de goût et de méthode qui est tout à fait générale.

Une étude au fusain, faite d'après nature, chez M. Flamarion, à Vaugirard, mérite cependant une mention particulière.

Les écoles communales de la ville de Paris sont mal pourvues de modèles, pour la plupart distribués par le bureau du matériel de la préfecture, sans aucun plan d'ensemble, et l'état actuel des choses est bien fait pour motiver l'étude à laquelle l'administration se livre en ce moment dans le but de réorganiser ce service important.

Le dessin dans les écoles primaires, nous disait un de ces jours l'un de nos plus éminents collègues, doit avoir pour la jouissance et le bien-être du peuple une influence bien autrement grande que celle que l'on recherche par l'étude plus générale du chant et la formation des sociétés d'orphéons; la pratique du dessin offre les mêmes satisfactions, mais ces satisfactions entraînent avec elles le perfectionnement des qualités nécessaires à tous ceux qui sont voués aux professions manuelles.

Nous ajouterons que les exercices de dessin se faisant en famille peuvent exercer une influence bien autrement moralisatrice sur les habitudes de la famille, et surtout sur celles des enfants.

Si, poursuivant notre étude, nous nous arrêtons devant les dessins exécutés dans les écoles d'un ordre un peu plus élevé, nous y trouvons en grand nombre des spécimens d'exercices plus avancés, mais nous sommes moins frappés de cet ensemble et de ce parti pris qui nous a si fort intéressés tout à l'heure. Beaucoup d'images mal imitées, sans aucun caractère et sans aucun style; absence complète de direction pour des enfants dont la carrière est moins déterminée ou qui, destinés aux professions commerciales, n'ont plus les mêmes aspirations, ni vers les choses de l'industrie manufacturière, ni vers les perfections de la forme, l'absence de vocation se traduit, ici comme ailleurs, par l'absence générale d'originalité : on n'entrevoit dans la pratique du dessin que le moyen de ne pas se présenter les mains vides aux grands jours de fête de la famille; on donne, à ces époques, un coup de collier qui n'est suivi d'aucune continuité et qui, pour la plupart des élèves, ne produit aucun résultat. En proclamant les récompenses décernées par le Jury à quelques-uns de ces établissements, on remarquera qu'elles portent surtout sur ceux dont les élèves appartiennent plus spécialement à la population engagée dans les travaux de l'industrie.

COLLÉGES ET LYCÉES.

Les travaux exécutés dans les lycées ne présentent pas de caractères beaucoup plus tranchés; au point de vue du dessin copié, ce sont toujours les mêmes lithographies dont l'imitation, plus ou moins parfaite, accuse une grande perte de temps plutôt qu'une aptitude quelconque.

Au point de vue des travaux graphiques, les programmes de M. Fortoul ont produit, au contraire, un résultat considérable. Les dessins de machines du lycée d'Auch, exécutés sous l'habile direction de M. Lago, montrent bien ce que l'on peut obtenir en ce genre, avec un peu de persévérance et de soin, chez des jeunes gens mieux préparés par quelques études géométriques.

Au collége de Thionville, nous avons trouvé la preuve de quel-

ques progrès remarquables chez les élèves confiés à M. Lefèvre, qui, après plus d'un demi-siècle de professorat, enseigne encore, et tout à la fois, le dessin d'imitation, celui de la topographie et celui de l'architecture, au collége de cette ville. En signalant la supériorité à laquelle est arrivé le dessin graphique dans ces expositions, nous sommes loin de contester les avantages du dessin à main levée, nécessaire dans toutes les positions de la vie, et plus encore chez les hommes qui sont voués à la pratique de la plupart des professions industrielles. Il serait vraiment nécessaire que la question fût mise à l'étude, que l'administration publique intervînt dans le choix de modèles bien gradués et bien choisis, et que cette partie importante de l'enseignement élémentaire sortît complétement de la mauvaise voie dans laquelle elle est généralement engagée.

ÉCOLES NORMALES PRIMAIRES.

L'enseignement du dessin dans les écoles normales primaires devrait être coordonnée de telle façon que l'instituteur pût au besoin donner des appréciations et des conseils, si ce n'est diriger ses élèves futurs dans l'étude du dessin géométrique et du dessin d'imitation.

Ce caractère de l'enseignement des écoles normales, nous ne l'avons rencontré que dans les classes du noviciat des frères de la doctrine chrétienne. Les élèves y dessinent une heure par jour, dans le même esprit qu'à Saint-Nicolas; mais ils vont beaucoup plus loin, puisque le dessin de perspective exposé par l'élève Jeandron (15 1/2) avait d'abord apparu au Jury comme une œuvre exceptionnelle et complétement irréprochable.

La visite que nous avons faite dans les classes nous a donné la mesure exacte de l'enseignement, et il nous a semblé que tous les enfants seraient à la fin de leur noviciat d'excellents maîtres de dessin élémentaire.

Peut-être l'école de Beauvais, qui est aussi comptée au nombre des écoles normales primaires, ferait-elle bien de s'inspirer un peu plus de la direction donnée à l'enseignement du dessin dans l'établissement principal de Noviciat.

ÉCOLES PROFESSIONNELLES:

Lorsque l'enseignement général se dirige plus ouvertement vers les carrières de l'industrie, les tendances que nous avons déjà entrevues se transforment en une direction nettement accusée, et la nécessité finale de la connaissance du dessin imprime aux travaux des élèves un cachet de perfection tout particulier C'est ainsi que chez M. Dombre, à côté de l'une de nos écoles impériales d'arts et métiers, on arrive à une véritable perfection dans les croquis et dans les dessins de machines. On dirait que l'habitude de voir les objets dont on veut faire la représentation, que l'obligation d'exécuter, sur le tour ou sur l'établi, les pièces elles-mêmes, identifient tellement l'élève avec elles, qu'il ne saurait rien omettre de ce qui peut aider à en faire ressortir jusqu'aux moindres détails.

Le même caractère se rencontre encore, bien qu'à un degré beaucoup moins marqué, dans les travaux graphiques des institutions de M. Fleury, de Lagny, et de M. Rossat, de Charleville. On distingue parfaitement, dans les travaux exposés par ces deux institutions, que les élèves qu'elles préparent se destinent aux professions manuelles.

Le jury a d'ailleurs remarqué, dans les dessins d'imitation envoyés par M. Rossat, un sentiment qui se rencontre bien rarement à l'âge auquel appartiennent la plupart des élèves, et ce sentiment est assez général pour qu'on en doive reporter le mérite au maître lui-même et à son talent.

Nous pourrions encore augmenter cette liste déjà nombreuse des divers établissements dans lesquels l'enseignement du dessin doit être considéré comme un accessoire d'études plus générales, dirigées vers un but plus ou moins déterminé. La diversité des résultats trouve sa plus grande raison d'être dans la diversité des buts à atteindre, et nous avons encore à examiner les écoles dans lesquelles le dessin est enseigné d'une manière tout à fait spéciale, soit aux jeunes gens, soit aux ouvriers déjà faits. C'est là que nous pourrons surtout étudier les méthodes dans leurs résultats, et rechercher si l'on doit accorder la prééminence à tel ou tel mode d'enseignement.

ÉCOLES SPÉCIALES DES BEAUX-ARTS.

Il importe tout d'abord d'établir une ligne de démarcation bien tranchée entre tous les établissements examinés jusqu'ici, et ceux qui, plus exclusivement voués à la pratique du dessin, intéressent, dans une tout autre mesure, le développement de l'art industriel. Autant l'utilité générale doit dominer dans l'école primaire, autant le développement du sentiment artistique doit être le but essentiel des écoles supérieures que nous allons passer en revue. Elles ont, à notre point de vue spécial, une importance tout à fait prépondérante, et le jury a réservé pour elles la plupart des récompenses de première classe qu'il destinait aux écoles de dessin.

L'école des beaux-arts de Toulouse est le seul établissement spécialement consacré à tous les genres de dessins qui ait pris une part importante à l'exposition actuelle des écoles. C'est le seul aussi qui se fasse remarquer par l'application systématique d'une méthode produisant de grands résultats. Ne pouvant établir de comparaison avec d'autres établissements du même ordre, il faut nous borner à indiquer que l'exposition de l'école de Toulouse a surpris, par son ensemble et par ses détails, tous ceux qui s'occupent de l'enseignement du dessin. Fréquentée par 650 élèves, elle ne compte pas moins de 20 professeurs, entre lesquels les divers cours sont répartis. Les jeunes gens y sont admis même avant d'avoir appris à tenir un crayon; le plus grand nombre quittent l'école pour se livrer à l'industrie; quelques-uns deviennent de véritables artistes, et la ville de Toulouse les entretient, à la suite de concours publics, pendant trois années à Paris, pour qu'ils se perfectionnent encore à notre grande école des Beaux-Arts.

Le point de départ étant le même, tous les élèves de Toulouse sont exercés de la même façon. Après quelques études préliminaires sur l'ardoise et sur le papier, consistant en tracés de lignes droites, de circonférences et de raccordements de lignes courbes, l'élève est immédiatement placé devant des solides géométriques, à faces planes, dont il reproduit les arêtes, telles qu'il les voit, puis devant des corps ronds et de formes variées.

Il dessine donc tout d'abord d'après la bosse, et il arrive, avec une très-grande rapidité, non-seulement à rendre par son tracé la perspective du modèle, mais encore à distinguer par des teintes à l'estompe, d'abord les plans des faces, selon les diverses positions qu'elles occupent, puis les faces courbes elles-mêmes, dont chacune des parties doit être ombrée comme si elle appartenait au plan tangent correspondant. Après les solides géométriques isolés, viennent les groupes de deux ou plusieurs de ces solides pour que l'élève puisse se rendre compte de l'effet des ombres portés et des premiers principes de la perspective aérienne. Quand un élève est arrivé à rendre convenablement ces premiers dessins, et qu'il les exécute avec une rapidité suffisante, on le fait immédiatement passer à la classe supérieure, où il dessine, encore d'après le relief, des ornements bien accentués, choisis avec soin, mais dont la collection paraît encore trop restreinte. Enfin il dessine, toujours dans le même esprit, la figure d'après l'antique, et plus tard d'après le modèle vivant; il arrive ainsi à vaincre successivement toutes les difficultés des différents genres de dessin, sans avoir eu une seule gravure devant les yeux et sans avoir fait une seule fois des hachures.

Cette méthode paraît conduire à des résultats excellents, et le jury a remarqué plusieurs têtes d'après l'antique qui sont d'un effet saisissant. Il serait vraiment impossible de rendre avec plus de vigueur et un meilleur sentiment du relief, une tête d'Ajax entre autres, exposée au nom d'un jeune homme qui n'a pas encore trois années d'études.

Ces résultats ont vivement impressionné le jury, et l'exposition de l'école de Toulouse lui paraissait tellement supérieure à toutes les autres, qu'il allait peut-être se laisser entraîner à préconiser la méthode que nous venons d'esquisser, comme la méthode par excellence et la seule qu'il dût recommander spécialement.

La réflexion a fait taire ce que cet enthousiasme pouvait avoir d'exagéré, et aujourd'hui, tout en rendant hommage à l'excellente direction des études de Toulouse, tout en conseillant d'essayer les mêmes moyens partout où les conditions locales le permettront, nous sommes d'avis que des résultats analogues peuvent être obtenus aussi par des procédés différents.

Dans l'une des écoles dont nous parlerons un peu plus loin

dans ce rapport, le professeur a substitué à la méthode Dupuis, qui se rapprochait beaucoup de la précédente, la copie exclusive des modèles gravés par le procédé des hachures, et il prolonge cet exercice pendant très-longtemps.

Parmi les produits envoyés par une école de jeunes filles, dans laquelle on professe de la même façon, nous avons retrouvé cette même figure de l'Ajax, avec les mêmes qualités qu'à Toulouse.

On objecte à la méthode toulousaine de laisser l'élève incertain devant son modèle, ignorant qu'il est des différents effets qu'il peut obtenir en mettant du noir sur du blanc ; et si, dit-on, quelques enfants, bien prédisposés aux études du dessin, savent franchir cette difficulté considérable et arrivent alors à de rapides progrès, combien en trouverez-vous qui, étourdis par ces premières difficultés, ajoutées à celles qui sont dans la nature même des choses, se retireront d'une lutte dans laquelle ils auraient pu cependant réussir, s'ils avaient été soumis à un régime plus progressif et plus approprié à la lenteur de leur imagination.

Voilà des raisons sans doute trop embarrassantes pour se décider d'une manière exclusive en faveur de tel ou tel système, et si l'on examine les questions de détail, on voit bientôt apparaître autant de divergences d'opinions pour chacune d'elles que pour la question principale.

L'estompe donne une certaine mollesse d'exécution, et n'accuse pas assez les délicatesses de la forme; l'emploi exclusif des hachures fait perdre de vue l'effet général, qui doit être compris avant tout, et sacrifie le principal à l'accessoire.

L'étude de l'ornement étant plus facile paraît mieux approprié aux premiers essais, mais on y peut réussir à peu près sans arriver cependant à une assez grande justesse; celle de la figure exige plus impérieusement que les moindres délicatesses soient accusées; elle ne souffre point la médiocrité, et partant elle constitue le meilleur de tous les exercices.

L'exécution lente est ennuyeuse, elle est presque toujours un peu lourde, mais elle force l'élève à ne rien négliger; l'exécution rapide peut paraître plus favorable en ce qu'elle s'inquiète surtout de l'effet général, mais elle habitue à un dessin indécis, et manque beaucoup trop de la précision nécessaire.

Chaque précepte est ainsi combattu par un principe absolu-

ment opposé, et ce serait vainement que l'on chercherait à les mettre d'accord, parce que les objections sont aussi fondées que les éloges, et qu'il n'y a, en définitive, rien d'absolument vrai que ce qui s'accommode le mieux aux aptitudes et à l'intelligence de chaque individualité.

Au milieu de ces contradictions, ne pouvons-nous cependant saisir quelques règles générales qui, sans s'imposer d'une façon trop absolue, puissent cependant servir de guide dans le plus grand nombre des circonstances, et nous verrons ensuite si la méthode de Toulouse ne réalise pas, tout au moins, quelques-unes de ces règles

Les exercices de trait sont absolument indispensables pour donner à la main la souplesse dont elle a besoin pour représenter les objets les plus simples, pour donner à l'œil la justesse sans laquelle il ne serait possible de composer, ni par conséquent d'imiter.

L'étude des formes géométriques n'est pas moins indispensable, et pour le dessin de la figure, par exemple, dans lequel cette étude paraîtrait à première vue moins utile, n'y a-t-il pas certaines proportions et certaines courbures générales que l'on doit connaître *a priori*, et dont il ne faut jamais s'écarter?

L'axiome de Boileau serait-il moins vrai pour le dessin que pour le style, et dès lors la vue des objets qu'il s'agit de représenter n'est-elle pas indispensable pour celui qui les interprète? Nous dirons donc, en élargissant un peu la pensée du poëte : tout ce qui se comprend bien se dessine clairement, et nous regarderons pour indispensable la connaissance complète et raisonnée du modèle.

On expliquera donc aux élèves tous les effets de perspective de leurs modèles, et l'original devra toujours accompagner la représentation, s'il n'est pas le modèle lui-même.

La méthode de Toulouse[1], satisfaisant à ces préceptes géné-

1. M. Gaillard, l'un des fondateurs de l'École de Toulouse, avait été chargé de donner au jury toutes les explications relatives à la méthode qu'il a contribué plus que personne à faire prévaloir. Les professeurs de dessin trouveront des indications très-intéressantes sur le sujet qui nous occupe dans son ouvrage intitulé : *Cours complet des Éléments du dessin linéaire et ombré*, par M. Gaillard, professeur de fortification et de dessin à l'École d'artillerie de Toulouse et peintre paysagiste. — Toulouse, 1853.

raux, peut être considérée comme une méthode naturelle et sûre, et sans prétendre qu'elle doive être appliquée indistinctement à toutes les organisations, elle mérite d'être prise en très-sérieuse considération; elle a produit, nous le voyons bien, des élèves extrêmement distingués, et elle pourrait sans doute rendre ailleurs des services analogues.

Nous n'avons jusqu'ici parlé que du plan d'études appliqué aux jeunes gens qui se destinent à la pratique du dessin et de la peinture. Les sculpteurs ne commencent à modeler que quand ils ont acquis un certain degré de talent dans le dessin d'après la bosse. Les élèves en architecture ne s'occupent non plus de projets et de construction que quand ils ont acquis dans cet exercice, regardé comme un préliminaire indispensable, un certain degré d'habileté.

Quant au dessin géométrique, au lever des machines, aux règles de la perspective géométrale, et à celles de la construction, les études sont également basées sur des modèles en relief. La copie, de quelque nature qu'elle soit, est absolument bannie de l'école, et dans les applications de cette nature on peut, avec plus de certitude, proclamer l'excellence de la méthode par l'excellence de ses résultats.

Si l'appréciation du jury devait s'étendre jusque sur les compositions de peinture, de sculpture et d'architecture qui ont remporté les grands prix de l'école de Toulouse, cette appréciation serait peut-être plus réservée et plus prudente. Ces compositions ont des qualités, mais, un peu prétentieuses peut-être, elles ne sont ni au point de vue de la correction du dessin, ni au point de vue de la sobriété de la couleur, ni à celui du relief anatomique, à proprement parler des œuvres d'art. Ce sont simplement des ouvrages dans lesquels on reconnaît des qualités solides, que la fréquentation des grands maîtres et des études plus sérieuses peuvent seules régulariser. Au reste, la ville de Toulouse ne s'est pas proposé un autre but, et les sacrifices qu'elle s'est imposés ont porté leurs fruits. Plusieurs de ses enfants sont devenus des artistes de premier ordre, et si son exemple était suivi par quelques-unes de ses villes les plus importantes, la France pourrait être assurée de conserver dans les arts la supériorité que l'on s'efforcerait en vain de lui disputer aujourd'hui. L'école de Toulouse, à elle seule, peut rendre autant de services

que celle du South Kensington Museum, à Londres, dont on préconise si haut l'influence pour l'avenir de l'art industriel en Angleterre.

Après l'école de Toulouse, nous ne pouvons citer d'autres établissements de quelque importance se livrant spécialement à l'enseignement des arts du dessin, et dirigeant à la fois les élèves vers les professions artistiques et vers les beaux-arts; à Paris, M. Zinc, à Tours, M. Rougeot, à Châlon-sur-Saône, M. Coutarié, ont des écoles qui, pour avoir les mêmes tendances, sont bien loin d'arriver à des résultats comparables à ceux que nous venons d'indiquer.

M. Tissier prépare spécialement ses élèves pour la section d'architecture. Ses modèles sont bons et nombreux dans cette spécialité, à laquelle nous aurions voulu qu'il se limitât.

L'école impériale spéciale de dessin, dirigée par M. Belloc, n'a pas pris part au concours, et le jury ne se croit pas en droit de porter sur cet établissement un jugement d'après les quelques dessins envoyés par des élèves isolés. Il a remarqué cependant quelques travaux intéressants, parmi lesquels une petite figure d'enfant tout à fait charmante, une très-bonne imitation de la gravure *le Repos*, et une figure d'Hermaphrodite d'un excellent modèle; il ne saurait repousser l'occasion qui se présente à lui de faire connaître, en parlant de cette école, le cours de composition d'ornements qu'y a fondé M. Viollet-Leduc, et qui est aujourd'hui professé par M. Ruprick Robert. Il se hâte de dire que les petites compositions exposées ne représentent en aucune façon la manière du maître et le goût qu'il sait apporter dans ses œuvres. Composer devant les élèves, à la craie, sur le tableau noir, un guéridon ou un coffret, c'est là une première tentative vers l'enseignement de l'art appliqué à l'industrie, et nous n'étonnerons personne en disant que cette tentative a réussi.

On voit d'ailleurs, par ces détails, que l'École impériale de dessin se préoccupe de former des artistes industriels; comme à Toulouse, les meilleurs élèves seulement sont dirigés vers l'étude des beaux-arts.

ÉCOLES DE DESSIN POUR LES OUVRIERS DES PROFESSIONS ARTISTIQUES.

Nous avons encore à nous occuper d'établissements d'un autre ordre, de ceux qui s'ouvrent le soir aux nombreux ouvriers et apprentis engagés dans les professions artistiques. Il ne s'agit plus de former ici des artistes, mais des interprètes habiles de la pensée d'autrui; cette pensée, il faut, avec l'esprit convenable, la matérialiser sur le bois, sur le bronze ou sur les autres matières qui entrent dans la décoration des palais et même des habitations les plus modestes. Ces écoles sont fréquentées par les sculpteurs sur bois, les monteurs et les ciseleurs en bronze, les ornemanistes, les fabricants de papiers peints, les lithographes et les graveurs, les peintres en porcelaine et en décor, en un mot, par tous les hommes engagés dans ces industries de choix dont Paris a pour ainsi dire le monopole. Il s'agit d'exceller dans ces professions, de se former le goût et la main, d'échanger le travail du manœuvre contre le burin ou le pinceau; il s'agit de savoir être le fidèle interprète de la forme et du sentiment. Aussi quelle ardeur chez ces enfants, quelle activité surtout chez ces hommes qui aspirent à cette transformation !

Et voici sur le même plan trois écoles, dans chacune desquelles il nous a été donné de voir deux cents élèves, travaillant avec cette ardeur, au dessin ou au modelage, aux dessins d'ornement surtout, qu'ils comprennent d'autant mieux qu'ils en ont besoin davantage, et qui, pour ne s'exercer qu'à copier cinq ou six heures par semaine des gravures ou des reliefs, laissent déjà pressentir parmi eux quelques talents qui les mèneront un jour à composer par eux-mêmes et à compter parmi nos artistes industriels.

Ces écoles ne sont cependant pas irréprochables; elles ne sont pas identiques; mais elles obtiennent à peu près le même résultat.

M. Lequien père a ouvert la voie. Placé dans le quartier de l'ébénisterie et des bronzes, il a formé, par ses seules ressources, l'école qui est aujourd'hui municipale, et qui a exposé ces grands rinceaux, ces beaux ornements qui font au Palais de l'Industrie l'admiration générale.

M. Lequien père est un artiste distingué; il est sévère dans le choix de ses modèles, sévère dans l'interprétation qu'en font ses élèves, sévère jusque dans le choix des produits qu'il veut exposer. Ses élèves, il ne les avoue que quand ils ont fait leurs preuves, et les dessins que nous avons été appelés à juger montrent, à n'en pas douter, que, depuis la fondation de son école, il est sorti chaque année des dessinateurs habiles et des ouvriers très-distingués de l'école de M. Lequien.

Le petit nombre des dessins de dates récentes avait engagé le jury à visiter l'école elle-même; il y a trouvé les élèves au travail, et il se plaît à reconnaître que prise ainsi sur le vif, elle témoigne de cette direction à la fois sévère et intelligente que l'exposition de M. Lequien faisait pressentir et dont la plupart d'entre nous avaient depuis longtemps connaissance.

L'école de M. Levasseur ressemble beaucoup à la précédente; si elle accuse une direction moins vigoureuse, il faut peut-être en attribuer la cause à une plus grande variété dans les professions auxquelles sont voués les élèves qui la fréquentent : les bijoutiers et les graveurs n'ont pas besoin du même genre de talent que les décorateurs et les ébénistes.

M. Levasseur retient beaucoup plus les élèves à la copie des estampes d'ornement; la pénurie que nous avons déjà signalée à l'égard des modèles se fait encore sentir dans cette école supérieure, et plusieurs de ceux que les élèves copiaient ont semblé ne pas être du meilleur choix. D'un autre côté, le dessin d'après nature est assez avancé dans cet atelier, et le modelage y est en ce moment représenté par des travaux excellents.

L'école plus récente de M. Lequien fils est mieux disposée comme local; les élèves qui dessinent et qui modèlent, d'après la nature vivante, y sont incontestablement plus forts que dans les autres ateliers; M. Lequien fils a d'ailleurs introduit dans son enseignement quelques exercices de dessin linéaire et de lavis qui donnent à une partie de sa classe une physionomie particulière et toute favorable.

Les petites différences que nous avons dû signaler s'effacent d'ailleurs devant les résultats obtenus; ils montrent combien notre population ouvrière est avide de progrès, combien elle est apte à s'inspirer du sentiment du beau, et c'est en la voyant ainsi

à l'œuvre qu'on acquiert une confiance indestructible en leurs forces et en leurs progrès.

On nous assure cependant que les grands dessins sont peut-être trop à la mode dans ces ateliers, et nous reconnaîtrons volontiers qu'il serait évidemment plus utile d'y substituer, dans bien des cas, des notions simples d'architecture, afin de familiariser l'esprit avec les grandes lignes et avec la vue d'ensemble qui doit présider à la composition de tout objet d'art, quelle qu'en soit la destination. Cette nouvelle création d'un cours d'architecture, mis à la portée des ouvriers de l'art industriel, serait peut-être l'occasion d'améliorer la position pécuniaire de ces écoles déjà si intéressantes.

Ce que les écoles municipales font pour les ouvriers déjà formés, et les jeunes qui montrent des aptitudes pour les arts du dessin, d'autres établissements le font pour les jeunes personnes, bien qu'avec moins de succès, et les frères des écoles chrétiennes s'efforcent aussi de le faire en faveur des élèves qui les quittent pour l'apprentissage, et dans un grand nombre de quartiers en faveur des ouvriers eux-mêmes.

En ce qui concerne les jeunes personnes, peut-être l'administration municipale a-t-elle beaucoup dépensé pour obtenir des résultats trop disproportionnés avec ses sacrifices. Cependant nous devons citer, parmi les travaux de l'école municipale dirigée par Mme Levasseur, des copies de fleurs, d'ornements et de figures qui sont d'une assez bonne exécution pour assurer à leurs auteurs une rémunération, relativement élevée, dans les industries de la lithographie, de l'éventail, des tableaux en cheveux, etc.

Mlle Lécluse, qui a exécuté par elle-même de très-bonnes études de nature morte, enseigne à une quinzaine de jeunes filles tout ce qu'il est nécessaire de savoir dans l'industrie courante de la peinture sur porcelaine. Les petites compositions faites par ses élèves méritent un réel intérêt.

En ce qui concerne les écoles chrétiennes d'apprentis et d'adultes, le jury a été fort surpris des efforts faits par les professeurs de ces établissements, malgré la pénurie des modèles et la complète insuffisance des locaux dans lesquels les élèves sont entassés.

Dans l'école du Marché-Saint-Martin, les adultes et les enfants

dessinent d'après l'estampe et d'après la bosse; on a trouvé le moyen de créer pour eux un petit atelier de coupe de pierre et de menuiserie ; le frère Arcadius a même entrepris de faire exécuter, par ses élèves bijoutiers, de petites compositions à l'imitation des objets qu'ils réalisent ensuite chez les fabricants qui les emploient.

Dans l'école de la rue de la Jussienne, nous avons remarqué avec intérêt quelques compositions faites aussi par les élèves, chacun dans l'esprit qui convient le mieux à sa profession.

Dans celle de la rue Saint-Lazare, de très-bons dessins de fleurs, traités avec la légèreté convenable, et un grand ornement exécuté d'après le plâtre avec une remarquable facilité.

Ailleurs, nous n'avons, en général, rencontré que d'assez médiocres copies de très-mauvais modèles, que nous ne saurions proscrire avec trop d'énergie, tant ils sont de nature à corrompre le goût et à faire perdre, en toute assurance, le temps si précieux cependant de tous ces jeunes gens.

Un mot encore sur l'institution de Saint-Nicolas : nous avons déjà fait connaître le caractère de son école primaire : ajoutons que cet établissement renferme, en outre, dix ateliers, consacrés à de réels travaux d'apprentissage, dirigés par des entrepreneurs.

Le dessin a une part obligatoire dans les travaux de ces apprentis, et tous les soins sont apportés pour qu'ils acquièrent le genre d'instruction qui convient le plus à leur profession. Les exercices de géométrie qu'ils exécutent, les épures de stéréotomie et de charpente, les levers de bâtiment et de machines qui sont exposés, donnent à cet enseignement un cachet pratique tout à fait recommandable. Enfin, dans l'atelier des dessinateurs pour châles, les élèves sont exercés à faire de petites compositions, dont quelques-unes déjà sont intéressantes.

ENSEIGNEMENT DE L'ART APPLIQUÉ A L'INDUSTRIE.

Tels sont, Messieurs, les faits et les principales tendances qui sont accusés par ce premier concours des écoles de dessin. Après avoir recherché ce que ces établissements présentent à notre appréciation, nous voudrions achever notre tâche en vous disant ce qui a été fait jusqu'alors, pour diriger dans leurs efforts ceux qui sont appelés à chercher, chaque jour, des applications nouvelles de l'art, c'est-à-dire du beau, à l'industrie, aux objets de luxe et même aux objets usuels.

Nous aurions reculé devant cette tâche qui exige d'autres aspirations et d'autres connaissances que les nôtres, si elle ne devait se borner à l'enregistrement pur et simple d'une négation.

Dans ce pays du goût et de la fantaisie, dans cette ville *qui est* la capitale de la mode, dont la grande école de peinture est en ce moment encore celle qui jette le plus vif éclat; dans ce pays dont tous les autres sont tributaires, au point de vue des industries du bronze et de l'ébénisterie, l'enseignement de l'art appliqué n'existe pas.

On vous apprend comment il faut composer telle couleur, on ne vous dit pas comment il faut l'employer. On vous apprend comment il faut combiner les métaux pour produire ce bronze, on ne vous dit pas sous quelle forme il conviendra de le ciseler, pour en tirer le meilleur parti. On vous enseigne à faire du papier, et vous n'avez aucun principe, lorsqu'il s'agit de le décorer. Aucune idée de ce qui convient à chaque application, de ce qu'il faut en bannir et de ce qu'il faut y rechercher.

De là résulte, suivant nous, que l'on applique trop souvent, sans s'inquiéter ni des moyens les meilleurs, ni des convenances auxquelles il faudrait satisfaire, et l'on doit peut-être s'étonner de la supériorité que notre pays a conservée dans les industries artistiques, au milieu de ces conditions éminemment défavorables.

L'idée de l'application implique celle de la connaissance fondamentale; il faut donc avoir recours aux compositions des

artistes ; mais les artistes les plus éminents n'ont-ils donc plus rien à apprendre lorsque peintres, sculpteurs ou architectes, ils veulent, en s'adonnant aux choses de l'industrie, tenir un compte suffisant des besoins et des convenances?

L'histoire de l'art appliqué formerait une part importante de cet enseignement spécial, qui faciliterait d'autant mieux les créations nouvelles, qu'il ferait plus complétement connaître celles des différents peuples et des différentes époques.

Pourquoi ne pas faire pour l'art ce que l'on fait depuis si longtemps et si bien pour la science. Pour l'une et pour l'autre application, les difficultés ne sont-elles pas du même ordre? Pour les vaincre il faut, des deux parts, assouplir le talent formé et déjà sûr de ses règles, aux difficultés spéciales de l'application. Alors, au lieu de livrer, comme aujourd'hui, les formes de nos diverses industries d'art à la fantaisie incertaine des hommes qui jugent par le goût plutôt que par les connaissances acquises, nous verrions le vrai beau envahir tous nos produits, s'imposer à l'industrie sous mille formes diverses, apporter enfin dans la composition de chaque objet le style approprié à sa nature, et toutes les dispositions qui sont commandées par sa destination.

Cet enseignement se créera un jour ; faisons en sorte que ce soit bientôt, car il doit faire la fortune des artistes qui entreront les premiers et avec résolution dans la voie, et peut-être même donnera-t-il une nouvelle activité à l'art pur, en créant autour de lui et sous son égide de nouvelles manifestations.

En attendant, et pour résumer en peu de mots les indications qui résultent de l'étude attentive des objets envoyés au concours, nous redirons une fois de plus toute la vigueur avec laquelle l'enseignement du dessin pénètre aujourd'hui dans tous les rangs de la population, depuis l'école primaire jusqu'à l'atelier ; tout en tenant compte des faits et des chiffres, nous regretterons l'insuffisance de nos modèles ; nous appellerons l'attention de nos administrateurs sur les procédés excellents mis en œuvre par le département de l'art pratique en Angleterre, pour favoriser l'exécution et la vulgarisation des meilleurs morceaux d'ornements ; nous recommanderons l'étude de la fleur, aujourd'hui trop abandonnée, comme la source la plus féconde et comme la base de toute ornementation ; enfin, nous ferons des vœux pour la création de

cet enseignement spécial de l'art appliqué à l'industrie, car à côté de ses jouissances, l'art a aussi ses devoirs, et c'est ainsi que nous appelons l'obligation qui lui incombe de venir plus sérieusement et plus sûrement en aide à notre industrie, dans la lutte qu'elle soutient, sans inquiétude, contre toute l'industrie européenne.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

NOTICE

SUR LA VIE ET SUR LES TRAVAUX

D'ÉMILE BAUDEMENT

PROFESSEUR AU CONSERVATOIRE IMPÉRIAL DES ARTS ET MÉTIERS

Membre de la Société impériale et centrale d'Agriculture.

Le Conservatoire a perdu, en Baudement, un de ses professeurs les plus habiles.

Atteint dès le mois d'avril 1863 des premiers symptômes d'une paralysie du cerveau, notre collègue était arrivé successivement à un état de dépérissement physique et intellectuel auquel la mort est venue l'arracher le 30 décembre dernier.

Émile Baudement, né le 16 novembre 1816, est mort dans sa 48e année le 31 décembre 1863. Il était fils d'un ouvrier ébéniste; ses études, commencées au séminaire de Conflans, furent achevées avec succès au collége Stanislas, où il était entré comme boursier. Au sortir du collége ses premières années furent difficiles. Il donna des leçons de mathématiques, de littérature, même des leçons d'hébreu; ce fut seulement en 1843 qu'il commença l'étude des sciences naturelles, particulièrement celle de la zoologie. Il publia, à partir de cette époque, quelques mémoires, présentés à l'Académie des sciences, mais plus particulièrement des articles d'appréciation dans les revues scientifiques et agricoles.

La création de l'Institut agronomique de Versailles, par l'Assemblée constituante, décida la vocation de Baudement.

Le haut enseignement que l'on voulait organiser dans cet établissement devait non-seulement être pourvu de nombreuses chaires dans lesquelles on professerait toutes les branches de l'agriculture, toutes les sciences accessoires, mais il devait en outre avoir, comme complément, une exploitation agricole et une ferme expérimentale. La zootechnie y était largement représentée. Voici en quels termes les rapports officiels justifient la création de cet enseignement :

« L'agriculture ne s'occupe pas seulement des végétaux, elle opère aussi sur des animaux. Or, jusqu'à ce jour, l'enseignement de cette branche de la production rurale a été compris d'une manière très-incomplète. On a fait une fâcheuse confusion entre l'art vétérinaire ou l'art de guérir les animaux, et la zootechnie ou l'art de les produire et de les améliorer. Cette seconde partie est celle qui intéresse plus spécialement le cultivateur; c'est aussi celle qui doit être enseignée à Versailles d'une manière aussi large et aussi complète que possible.

« Toutefois, il faut reconnaître que, pour la connaissance approfondie des principes généraux et des règles relatives à l'éducation et à l'hygiène du bétail, il est, sinon indispensable, du moins fort utile de posséder quelques notions d'anatomie et de physiologie générales. L'étude de la zootechnie devra donc se compléter par celle de la zoologie. Mais, vu l'importance de la zootechnie, il a paru qu'il y aurait inconvénient à réunir ces deux parties d'un même enseignement entre les mains d'un même professeur, et que la zootechnie et la zoologie devaient être placées côte à côte, et former deux chaires spéciales.

« Au reste, l'importance de la question du bétail en France, l'urgence d'y améliorer les ressources de la production animale et l'élevage des animaux domestiques, expliquent et motivent l'existence simultanée des deux chaires de zoologie et de zootechnie. Les vœux de l'Assemblée nationale à cet égard avaient été si bien formulés, les intentions du comité chargé de l'examen de la loi si explicitement développées dans son rapport, le texte de l'article 18 du décret qui annexe à l'Institut agronomique l'établissement déjà fondé à Versailles pour l'élevage des types

régénérateurs, indique si manifestement la direction à donner à l'Institut agronomique sous ce rapport, que c'eût été méconnaître l'esprit du décret, les intentions du législateur, et surtout la situation du pays, que de ne pas donner à l'enseignement zootechnique une importance et une place spéciales. »

Le principe était posé, mais l'innovation que l'on voulait introduire faisait désirer un interprète habile, qui pût coordonner les faits isolés et encore épars de la science zootechnique.

Conformément à l'article 16 de la loi sur l'enseignement professionnel de l'agriculture, la chaire de zootechnie fut mise au concours à la fin de l'année 1849. Le jury était composé de MM. Tourret, ancien ministre, de Beaumont, de Kergorlay, Gareau, Yvart et Lefebvre Sainte-Marie.

Les divers candidats avaient rédigé leurs programmes, et celui de Baudement s'identifiait si parfaitement avec la pensée qui avait présidé à la fondation de l'Institut agronomique, que toutes les sympathies lui furent tout d'abord acquises; et lorsque, quelques jours plus tard, on le vit traiter, avec une grande distinction de parole, en leçon publique, deux sujets difficiles, son succès fut absolument assuré.

Ce concours fut assez brillant pour que notre collègue pût compter sur l'approbation de tous ses juges, et en particulier sur celle de M. de Gasparin, président de la commission d'organisation, qui devait, plus tard, mettre au service de l'institution cette direction intelligente et cette profonde connaissance des faits agricoles qui ressortent de tous ses travaux.

M. de Gasparin avait même, à cette occasion, songé à confier à Baudement la partie zootechnique de son cours d'agriculture.

Le programme de Baudement a tracé, du premier coup, le domaine de la zootechnie. Les aperçus généraux sont largement traités; et, bien qu'en abordant les détails, on rencontre à chaque pas bien des lacunes, on peut dire que ce programme a par lui-même marqué une époque dans une partie importante de l'histoire naturelle appliquée à l'agriculture. Il est d'ailleurs comme l'expression de la nature d'esprit de notre collègue : s'assimilant facilement les connaissances acquises, les solutions à peine entrevues, il savait les grouper d'une manière à la fois ingénieuse et philosophique, et faire ressortir, de leur réunion,

certaines conséquences, que de nouvelles études devaient se charger de démontrer.

En publiant ce remarquable programme, Baudement n'en avait pas dissimulé les lacunes; il se proposait de les combler; mais les expériences sur la nature vivante sont longues et difficiles; elles se compliquent toujours de faits étrangers à l'objet même que l'expérimentateur a en vue, et notre collègue n'a pu, pendant la durée trop courte de l'Institut agronomique, en exécuter qu'un trop petit nombre.

Nous ne pouvons résister au désir de reproduire l'opinion de Baudement sur les difficultés que présentent les recherches sur l'économie des animaux.

« Dire que la zootechnie est une science, c'est exprimer un vœu et un besoin, plutôt que constater un fait; et, s'il est vrai que la science agricole a presque tout à créer, cela est surtout évident pour la zootechnie.

« La condition, pour féconder cette partie si importante et si intéressante de la science agricole, *c'est d'observer et d'expérimenter*, en appelant à son aide la chimie, la physique, la météorologie, toutes ces sciences qu'on peut appeler accessoires en raison du but principal qu'on poursuit, mais qui sont fondamentales quant au moyen d'atteindre à ce but.

« Cette idée est celle qui a présidé à l'organisation de l'enseignement agricole, et qui a placé le métier dans les fermes-écoles, l'art dans les écoles régionales, la science au premier degré dans l'Institut national agronomique. Telle est aussi la pensée de tous ceux qui s'occupent sérieusement de l'économie du bétail en France et à l'étranger.

« Mais l'observation et l'expérimentation ne doivent pas rester l'œuvre du professeur seul. Le moyen d'action le plus efficace qu'il ait sur l'esprit des élèves, pour les habituer à la précision et à la rigueur qu'exige la pratique, pour fixer leur attention sur les questions difficiles avec lesquelles ils se trouveront aux prises, pour leur apprendre à contrôler la théorie et la pratique l'une par l'autre, c'est de les associer à ses travaux. »

Baudement ne s'est jamais departi de cette règle, et tous ses élèves sont restés ses amis fidèles. Nous devrions dire, peut-être, combien quelques-uns d'entre eux se sont montrés, après sa mort, bons et dévoués pour la famille de notre collègue.

Baudement distinguait la zootechnie générale, dont les subdivisions ont pour titre les grandes fonctions de la vie animale, de la zootechnie spéciale, dans laquelle il se proposait de passer en revue toutes les espèces domestiques, en déterminant les races, en examinant le caractère de chacune d'elles, ses exigences, ses avantages particuliers, les localités dans lesquelles les conditions naturelles ou les efforts de l'homme les conservent dans le plus grand état de pureté. Cette partie spéciale de la zootechnie, en appliquant les principes généraux, formulés dans la zootechnie générale, sur l'alimentation, la génération, l'habitation, l'influence du travail, devait apprécier la valeur relative des différentes races en vue de la destination que nous leur donnons; elle devait, en outre, indiquer les moyens de les conserver ou de les modifier, et faire connaître, par l'histoire et la statistique, le développement, l'état actuel et les tendances de la production et du commerce.

Nous nous sommes étendu sur ce programme, parce qu'à nos yeux Baudement s'y est révélé tout entier; c'est son œuvre, et tous ses travaux ultérieurs n'en sont pour ainsi dire que des chapitres détachés que l'observation avait modifiés et complétés.

L'Institut agronomique de Versailles fut supprimé en 1852, Baudement fut ainsi arrêté dans les recherches qu'il avait entreprises sur le plus beau troupeau qui ait jamais été réuni.

Mais, pendant les deux années de son professorat, il avait si bien répondu à la confiance qu'avaient placée en lui les membres du jury du concours de 1849, que l'administration songea tout aussitôt à lui fournir un nouvel auditoire. La chaire de zoologie appliquée à l'agriculture et à l'industrie fut créée au Conservatoire à cette occasion. Baudement y fut appelé, et pendant dix ans il y eut un véritable succès.

Sa parole élégante et facile n'a pas été pour peu de chose dans ce résultat; après une hésitation de quelques instants, elle était bientôt assurée et vibrante; il rencontrait l'expression juste, le mot exact, et l'auditoire restait souvent étonné de la précision qu'il savait apporter dans la discussion des divers sujets qu'il avait à développer.

Très-habile dessinateur, il mettait une certaine coquetterie à représenter, par des figures souvent superposées, les différences

de conformation, la configuration des pays, et jusqu'aux lois des phénomènes.

On peut toutefois lui reprocher de s'être un peu trop renfermé dans le cercle qu'on lui avait tracé à Versailles, et regretter que, laissant de côté tout ce qui aurait pu être dit d'intéressant sur l'application de la zoologie aux différents ordres des animaux utiles ou nuisibles, à leurs produits divers, il se soit trop spécialisé dans les études pour lesquelles il était si bien préparé. Peut-être l'adoption de ce point de vue un peu exclusif a-t-elle exercé une grande influence sur la décision qui paraît prise aujourd'hui de réunir l'étude du bétail dans le cours général d'agriculture du Conservatoire.

Il nous serait impossible, dans cette Notice, d'exposer, avec détails, les divers travaux de Baudement : nous devons nécessairement nous borner à quelques indications sommaires qui permettront de recourir aux mémoires originaux.

L'Institut agronomique fournissait au professeur le plus beau champ d'expériences zootechniques qu'il fût possible de rencontrer. Baudement sut le mettre à profit pour ses études sur l'alimentation du bétail, et la détermination de la valeur alimentaire des diverses rations [1].

Comme conséquence générale d'expériences très-prolongées, il fut amené à reconnaître, avec une nouvelle autorité, que la consommation était proportionnellement plus grande chez les animaux de poids faible que chez les animaux de poids plus élevé.

Diverses séries d'expériences ont été faites également par Baudement, quelques-unes avec la collaboration de M. de Behague, sur l'emploi du sel dans la culture des terres et dans l'élève du bétail [2].

Le sel ne se retrouve point dans l'analyse des végétaux de la flore des dunes, et c'est seulement par l'introduction directe de cette substance dans l'alimentation que l'on peut en tirer quel-

1. *Annales de l'Institut national agronomique*, 1[re] livraison, page 121, Mémoires de la Société impériale et centrale d'agriculture de France. — 1853, page 347.

2. *Journal d'Agriculture pratique*, 1849, page 117. Bulletin de la Société impériale et centrale d'agriculture, 1849 et 1850.

que effet. Cet effet s'est d'ailleurs manifesté par une augmentation notable dans la consommation du fourrage et de l'eau, mais aussi par une diminution dans la faculté d'assimilation, et dans celle de l'augmentation du poids vivant, ainsi, du reste, que l'avaient démontré les expériences antérieures.

Il en a été de même chez les vaches par rapport à la production du lait. Le sel a exercé une influence d'autant moins utile qu'il était consommé en proportion plus considérable.

Les animaux de boucherie des races anglaises étaient entrés depuis quelques années dans la consommation française. Très-recherchés des éleveurs pour leur précocité et leur disposition à l'engraissement, ils n'étaient pas aussi bien accueillis par les consommateurs. On s'accordait, en général, à considérer la viande des jeunes animaux, qui n'avaient pas travaillé encore, comme de moins bonne qualité que celle de nos bœufs, moins précoces et soumis pendant plus ou moins de temps aux travaux des champs.

Pendant neuf années consécutives, dans tous les concours de Poissy, auxquels il participait chaque année comme rapporteur du jury, Baudement poursuivit l'étude de cette question, non-seulement dans les expositions, mais encore sur le champ de foire, à l'étal du boucher, et jusque sur la table, par la dégustation.

En comparant ainsi les bœufs des races françaises aux bœufs appartenant à la race de Durham et à ses croisements, il reconnut que la qualité de la viande est tout aussi bonne dans l'une et dans l'autre catégorie. Mais tandis que nos bœufs indigènes n'acquièrent toute leur valeur que beaucoup plus tard, ceux de la race Durham arrivent à cette qualité maximum deux ans plus tôt.

Il y a donc réellement des animaux précoces, capables de fournir de bonne heure une viande faite, présentant toutes les qualités requises pour la consommation; les produits croisés offrent d'ailleurs une petite supériorité sur les produits de race pure.

Des comparaisons analogues faites sur les moutons mérinos, et sur les métis mérinos, démontrèrent que les moutons anglais, plus précoces et plus lourds que les nôtres, sont aussi meilleurs sous le rapport de la qualité de la viande, et qu'ainsi, dans l'espèce

ovine comme dans l'espèce bovine, pour obtenir le meilleur résultat, sous un rapport déterminé, les éleveurs doivent abandonner l'idée de rechercher à la fois les différents genres de supériorité, et s'en tenir à un seul.

Ce principe, que Baudement désignait dans ses leçons sous le nom de principe de la spécialisation des animaux domestiques, avait été soutenu déjà, avec une grande autorité, dans plusieurs discussions remarquables par la justesse de l'expression, la netteté des vues et les qualités générales du style. Les *lettres* sur la perfection de l'espèce bovine, 1854 et 1855, sont un véritable chef-d'œuvre de polémique. Baudement y a mis tant d'esprit et de finesse qu'il aurait été bien difficile de croire qu'il n'avait pas le bon droit de son côté.

Cette thèse avait toujours été la sienne. « La supériorité de l'agriculture anglaise, disait-il en 1852, consiste, non dans le climat, dans les capitaux, dans les machines, dans la nature des races, primitivement meilleures, mais bien dans l'esprit et dans l'éducation essentiellement industrielle des producteurs, pour qui toutes ces conditions ne sont que des moyens d'arriver à la perfection. Ce que j'admire en face de ces étonnantes machines nommées cheval de course, clydesdale, roadster, bœufs Durham, Devon, d'Ayr, mouton Dishley, Southdown ou Cheviot, porcs Berkshire ou New-Leicester, c'est bien moins le résultat que l'idée industrielle d'où sont sorties ces machines pour un but spécial; c'est la netteté de conception, la sûreté du coup d'œil, le parti pris qu'ont exigé de pareilles créations. Je ne mentionne ni la persévérance dans le plan, ni la ténacité saxonne. Ce sont ces habitudes industrielles qu'il faut emprunter aux Anglais; elles nous conduiront parfois à l'imitation, quand les conditions économiques seront pour nous les mêmes que chez nos voisins; elles nous fourniront toujours une méthode, quelles que soient les circonstances au milieu desquelles nous devrons opérer. »

Comme application de ces principes, nous avons entendu notre collègue recommander, en maintes circonstances, la production plus spéciale en France des animaux de boucherie : « La laine se transporte facilement, disait-il; faisons donc de la laine dans la France africaine et conservons pour la mère patrie l'élevage des moutons précoces. »

L'étude approfondie que Baudement avait faite des races anglaises lui avait d'ailleurs permis de formuler ses idées sur les méthodes qu'emploie l'éleveur pour perfectionner. Pour lui on ne fait de race que par sélection, qu'en améliorant les animaux par eux-mêmes, le croisement ne devant jamais être employé que pour obtenir des produits. Il approuvait fort le croisement dans ce sens; et les beaux animaux Durham-Manceaux, Durham-Normands, Durham-Charolais, qu'il avait examinés dans les concours de boucherie, vinrent à cet égard fortifier son opinion jusqu'à en faire une conviction inébranlable.

Le travail, auquel Baudement attachait le plus d'importance, est celui qu'il a publié dans les *Annales du Conservatoire* (juillet 1861) sous le titre de : *Observations sur les rapports qui existent entre le développement de la poitrine, la conformation et les aptitudes des races bovines.*

En concluant, d'après des faits bien observés, des mesures prises et des pesées exactes, sur 102 bœufs de boucherie, Baudement a reconnu que le développement thoracique est bien l'indice de la supériorité des animaux comme utilisateurs de leur ration; mais si, à mesure que l'animal gagne en poids vif, sa circonférence thoracique acquiert plus d'ampleur, et si, en même temps, ses poumons prennent plus de volume, ces trois accroissements sont loin de suivre une loi parallèle.

« Le poids vif et la circonférence thoracique se correspondent seuls d'une manière constante, à toutes les périodes du développement des animaux.

« Les poumons ne restent en rapport constant, ni avec le poids vif, ni avec la circonférence thoracique ; seulement ils sont plus développés pour un même poids vif quand les animaux sont plus jeunes. »

Cette disproportion entre le volume extérieur et celui des organes respiratoires qu'il renferme, n'infirme en aucune façon l'estimation portée d'après l'ampleur de la poitrine; mais elle est, au point de vue physiologique, intéressante, en ce qu'elle ouvre une voie nouvelle aux recherches qui auraient pour objet la détermination plus exacte de l'influence du développement de la poitrine sur la faculté d'engraissement des différentes races.

« Parmi les animaux de même race, dit Baudement, le plus faible poids relatif des poumons se rencontre chez ceux qui ont le poids vif le plus élevé; et le plus fort poids relatif des poumons, chez ceux qui ont le poids vif le plus faible. »

Il ressort du travail de Baudement, que les animaux de boucherie des races anglaises, bien qu'ayant une circonférence thoracique, une ampleur de poitrine plus grande que nos animaux français, ont cependant des poumons relativement moins développés.

Ce fait, bien constaté, est des plus remarquables au point de vue physiologique; il se rattache très-nettement aux idées émises par le savant naturaliste Darwin, sur les variations que présentent les organes suivant les besoins. Depuis longtemps on avait remarqué que les animaux des races anglaises, inactifs, à qui on ne demande aucun autre service que de s'accroître le plus promptement possible, prenaient un développement considérable du tronc, des organes de la vie végétative, tandis que les organes de la vie de relation allaient s'amoindrissant; les jambes devenaient grêles, minces, à peine capables de porter la grosse masse qui pèse sur elles; Baudement démontre de plus, que chez ces animaux fainéants, qui ne doivent produire aucun travail, l'appareil à combustion, le poumon, dans lequel doit affluer l'air qui, par sa combinaison avec le charbon et l'hydrogène des aliments, fournit force et mouvement, Baudement démontre, disons-nous, que cet organe se réduit.

En conservant le mot de machines animales, si heureusement employé par Baudement pour désigner les animaux, ces faits viennent confirmer, de la façon la plus curieuse, tout ce que nous savons sur la production de la chaleur et du mouvement. La machine qui travaille avec énergie, c'est notre bœuf français; il a un large foyer; la machine qui ne dépense aucune force, au contraire, c'est le bœuf anglais; son foyer se réduit avec les appareils de locomotion qu'il devait animer; ni ses aïeux, ni lui, n'ayant travaillé, l'organe où l'air, source de combustion, doit affluer, s'amoindrit.

Jusqu'ici, la règle ainsi formulée n'a pas servi de base aux préférences des acheteurs; le temps seul pourra justifier et donner cours aux opinions de notre collègue.

Baudement a publié encore d'autres mémoires d'importance secondaire, tels que :

Etudes sur les laines d'Algérie. — (Mémoire de la Société d'agriculture, 1855).

Rapport sur les distilleries de betteraves pour la campagne de 1855-56 — (Mémoires de la Société impériale d'agriculture).

Rapport à la Société impériale d'agriculture sur le bétail dans le nord de la France. — (Journal d'Agriculture pratique).

Il était véritablement écrivain, et c'est à ce titre qu'il a, pendant longues années, fait paraître, dans le *Constitutionnel*, une série d'articles sur les questions d'agriculture et d'économie rurale. Il y porta les qualités qui distinguaient son enseignement. C'était le même talent d'exposition, la même netteté de vues, la même précision et la même élégance dans la manière d'exprimer sa pensée. Il traita, dans le *Constitutionnel*, les différentes questions que les circonstances ou les découvertes modernes mettaient à l'ordre du jour; et, habile à vulgariser la science, il sut donner, même aux sujets les plus arides, cet intérêt et cet attrait qui peuvent seuls les faire accepter par les lecteurs d'un journal quotidien. Aussi ne se plaignait-on que d'une chose, c'était que sa collaboration ne fût pas plus active; car ses travaux et ses recherches lui laissaient peu de temps, et l'on regrettait qu'ils ne lui permissent pas d'être plus prodigue de ces articles si bien rédigés, qui mettaient la science agricole à la portée de tous.

Depuis qu'il avait quitté Versailles, toute son attention s'était reportée sur les animaux des concours et des expositions agricoles. Il en a décrit maintes fois les types les plus remarquables, et ses observations nombreuses trouveront, à n'en pas douter, leur place dans les études qui pourront être consacrées à chacune des races en particulier.

Il avait, dans ces conditions éminemment favorables, préparé avec soin tous les matériaux d'un grand ouvrage : *Les races bovines au concours universel de Paris en* 1856. Ces études zootech-

niques, entreprises par ordre du ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, resteront malheureusement privées des explications détaillées qui devaient accompagner les 87 planches qui représentent les plus beaux types des races des Iles Britanniques, de la Hollande et du Danemark, de la Suisse et de l'Allemagne, de l'Autriche, et enfin de la France. La collection de ces planches n'en constitue pas moins l'atlas le plus précieux en ce genre, et les cinq cartes qui l'accompagnent résument, avec une grande clarté, les données relatives à la répartition de chacune de ces races, et aux limites des zones d'approvisionnement qu'elles desservent. La géographie des bêtes bovines n'avait jamais été si bien faite, ni si habilement résumée.

Sous le titre trop modeste d'introduction, le lecteur trouvera quelques aperçus généraux sur la définition, les caractères et la répartition des races, et la clarté qui préside à cette partie de l'ouvrage laisse parfaitement deviner ce qu'aurait certainement contenu le texte lui-même, si des souffrances incessantes, nécessitant de longs repos, si un amour exagéré de l'exactitude, le désir d'accumuler des renseignements, les lenteurs inévitables de nombreuses correspondances avec des éleveurs disséminés sur tous les points de l'Europe, n'avaient longtemps retardé cette publication que la mort est venue brusquement interrompre.

Pendant la lente agonie de notre malheureux collègue, l'idée de ce travail revenait avec sa raison; et quand de pâles éclairs venaient de temps à autre illuminer cette belle intelligence obscurcie, le désir de continuer cette œuvre capitale était le premier à se réveiller.

Un autre travail cependant aura du moins échappé à l'arrêt qui a brisé cette carrière scientifique qui paraissait devoir être si bien remplie, et nous accomplissons à la fois un devoir envers le professeur et envers le public, en publiant ce chapitre, devenu le dernier de ceux que Baudement destinait à remplir le cadre, si bien tracé, et déjà complet sur quelques points, du remarquable programme de 1849. Il y est resté constamment fidèle. Sanctionné par l'approbation des hommes les plus compétents, éclairé par des recherches devenues plus précises, par cela même que leur but est mieux formulé, ce programme sera

pendant longues années encore la base des études zootechniques les plus sérieuses et les plus importantes, et Baudement aura eu le mérite d'avoir, l'un des premiers, apporté, dans ces études, l'emploi de moyens d'observation exacts et précis, à la place d'appréciations toujours incertaines et souvent entachées d'erreurs ou de préjugés.

Ces matières premières ont une valeur différente et variable. La graisse recueillie dans la cavité abdominale et qui constitue le suif, réunie à la masse de substance grasse qui enveloppe les reins, tient le premier rang. Le cuir vient ensuite. Les organes internes contenus dans les cavités splanchniques, le sang, quelques issues secondaires, les fèces et les déchets, complètent, chacun pour sa part d'importance, le total du poids vivant.

La détermination des diverses sortes de produits fournis par l'animal de boucherie, leur répartition en deux grands groupes, ont éclairé bien des points de la question du rendement en quantité. Mais la connaissance du *poids net* lui-même ne suffit pas à l'appréciation de la valeur propre et comparée des races, il fallait encore s'efforcer de découvrir les signes auxquels la qualité des viandes peut être reconnue; et, après avoir appliqué la dégustation et les préparations culinaires comme contrôle, on arriva à compléter, en partie, les connaissances déjà acquises sur les différentes propriétés organoleptiques de la viande, chez un certain nombre de races.

Un pas de plus restait à faire, et ce n'était pas le moins utile. Il s'agissait d'arriver à savoir ce que fournit, en définitive, de réellement utilisable, en passant des mains du boucher dans celles du consommateur, ce *poids net* qui n'avait encore été étudié qu'à la surface. Il importait de distinguer les modifications de composition que la viande présente, chez les diverses races, et dans les différentes parties du corps, en déterminant les variations qui se produisent dans les proportions de chair, de graisse et d'os. Par cette étude, les aptitudes des races se peuvent révéler, les influences de l'âge et du degré d'engraissement se manifestent, et l'on prend une idée exacte du véritable rendement, de la véritable valeur des bêtes de boucherie. L'éleveur est plus complétement renseigné et guidé dans le choix de la race et de ses animaux.

Les observations consignées dans ce mémoire ont pour but de répondre, par des faits, à ces desiderata de la théorie et de la pratique. Elles ont porté sur huit bœufs et quatre moutons.

Six bœufs avaient figuré, cette année (1862), à la grande exhibition de Poissy : trois appartenaient aux races françaises Landaise, Normande et Charolaise, et trois à des races britanniques, celles de Hereford, de Durham et d'Angus. Deux bœufs, un Sa-

lers et un Normand, furent, en outre, pris parmi les races qui approvisionnent le plus ordinairement le marché de Paris; c'était comme un terme de comparaison de l'engraissement commercial ordinaire, bien que de premier choix, avec l'engraissement exceptionnel des concours de boucherie.

Les dimensions principales des animaux et leur rendement à l'abattoir, ont été préalablement constatés. Ce travail a donné lieu à 63 mesurages et à 200 pesées comprenant le poids vif, le poids net, le poids du suif, celui du cuir, du sang, de tous les organes contenus dans les diverses cavités splanchniques, et des parties accessoires, chez tous les bœufs. Le Charolais seul n'a pu être mesuré.

Des moutons, au nombre de 4, parmi lesquels 2 avaient paru à Poissy, et 2 furent achetés sur le marché d'approvisionnement de Paris, ont été soumis aux mêmes observations à l'abattoir; 92 pesées y furent exécutées. Les deux moutons de races indigènes, un Berrichon et un Mérinos métis-champenois, purent être comparés avec les deux moutons anglais Southdown et Costswold.

Tous les détails que fournissent les mesurages et les faits à l'abattoir, sont réunis aux tableaux A et B; on y voit que le poids de chaque organe, et celui de chaque produit, qui composaient le poids vif total, y sont indiqués. L'âge des animaux y est inscrit.

Un examen étendu de tous ces faits d'abatage n'a pas sa place dans ce mémoire, dont l'objet essentiel est d'apprécier la valeur du poids net, débité à l'étal. Mais il ne sera pas déplacé sur quelques points, et, au contraire, il servira, dans certaines limites, à compléter l'étude de la composition du poids net, pour chacun des morceaux vendus au consommateur.

TABLEAU A. — *Mensuration des bœufs soumis aux observations, et résultats des pesées faites à l'abattoir.*

RACE.	Bœufs primés au Concours de Poissy en 1862.						BŒUFS DE RACES FRANÇAISES approvisionnant ordinairement les marchés de Paris.	
	RACES FRANÇAISES.			RACES BRITANNIQUES.				
	LANDAIS.	NORMAND A.	CHAROLAIS.	HEREFORD.	DURHAM.	ANGUS.	SALERS.	NORMAND B.
AGE.	55 mois (4 ans, 7 m.).	64 mois (5 ans, 4 m.).	90 mois (7 à 8 ans).	39 mois (3 ans, 3 m.).	41 mois 3 a. 4 m. 25 j.)	57 mois (4 ans, 9 m.).	60 mois (5 ans).	72 mois (6 ans).
Taille au garrot	1m,42	1m,57		1m,45	1m,41	1m,55	1m,50	1m,63
Taille à la hanche	1 ,45	1 ,62		1 ,40	1 ,44	1 ,61	1 ,51	1 ,51
Circonférence thoracique	2 ,50	2 ,83		2 ,73	2 ,68	3 ,15	2 ,41	2 ,42
Largeur des hanches	0 ,60	0 ,70		0 ,65	0 ,60	0 ,75	0 ,58	0 ,61
Longueur du corps de la nuque à la queue	2 ,15	2 ,40		2 ,10	2 ,10	2 ,33	2 ,25	2 ,40
Longueur de la hanche à la queue	0 ,55	0 ,60		0 ,63	0 ,54	0 ,55	0 ,40	0 ,50
Grosseur de l'avant-bras	0 ,50	0 ,50		0 ,47	0 ,52	0 ,50	0 ,50	0 ,48
Grosseur du canon	0 ,21	0 ,21		0 ,19	0 ,20	0 ,22	0 ,22	0 ,23

	Landais Poids absolus.	Landais Rapport des poids à 100 de poids vif.	Normand A. Poids absolus.	Normand A. Rapports des poids à 100 de poids vif.	Charolais Poids absolus.	Charolais Rapports des poids à 100 de poids vif.	Hereford Poids absolus.	Hereford Rapports des poids à 100 de poids vif.	Durham Poids absolus.	Durham Rapports des poids à 100 de poids vifs.	Angus Poids absolus.	Angus Rapports des poids à 100 de poids vifs.	Salers Poids absolus.	Salers Rapport des poids à 100 de poids vifs.	Normand B. Poids absolus.	Normand B. Rapports des poids à 100 de poids vifs.
Poids vif au moment de l'abatage	760k	100	1010k	100	1090k	100	770k	100	850k	100	1215k	100k	690k	100	850k	100
Décomposition du poids vif. Poids net (sans rognons)	460	60,53	645	63,86	690	63,30	530	68,83	533	62,71	778	64,03	436	63,19	489	57,53
— du suif	98	12,89	123	12,18	95	8,72	75	9,74	129,50	15,24	183	15,06	40	5,80	67	7,88
— du cuir	49	6,45	55	5,45	71	6,51	46	5,97	45,50	5,35	58	4,77	64	9,28	57	6,70
— du sang	24	3,15	33	3,27	39	3,58	10,50	1,36	17	2,00	30	2,47	20	2,90	36	4,24
— des organes internes	53,25	7,01	74,39	7,37	80,27	7,36	52,71	6,85	61,19	7,20	85,75	7,06	61,74	8,95	87,38	10,28
— de quelques parties accessoires	15,50	2,04	78,50	1,83	17,26	1,58	11,75	1,53	12,48	1,47	17	1,40	13.80	2,00	16,49	1,94
Excréments	50	6,58	52	5,15	80	7,34	26	3,38	28	3,29	45,50	3,75	47	6,81	75	8,82
Pertes, déchets, épluchures, évaporat.	10,25	1,35	9,11	0,89	17,50	1,61	18,04	2,84	23,33	2,74	17,75	1,46	7,46	1,09	22,14	2,61

BŒUFS PRIMÉS AU CONCOURS DE POISSY EN 1862.

RACE.	RACES FRANÇAISES.						RACES BRITANNIQUES.						BŒUFS DE RACES FRANÇAISES approvisionnant ordinairement les marchés de Paris.			
	LANDAIS.		NORMAND A.		CHAROLAIS.		HEREFORD.		DURHAM.		ANGUS.		SALERS.		NORMAND B.	
AGE.	55 m. (4 a., 7 m.)		64 m. (5 a., 4 m.)		90 m. (7 à 8 ans.)		39 m. (3 a., 3 m.)		41 m. (3 a. 4 m. 25 j.)		57 m. (4 a. 9 m.)		60 mois (5 ans).		72 mois (6 ans).	
	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.	Poids absolus.	Rapport des poids à 100 de poids vif.
	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
Poids des organes contenus dans les diverses cavités splanchniques. — Langue-larynx	3,50	0,46	6,00	0,59	5,45	0,50	4,21	0,55	5,60	0,66	6,00	0,49	4,10	0,59	6,05	0,71
Trachée	0,75	0,10	0,75	0,07	1,02	0,09	0,91	0,12	0,79	0,09	1,00	0,08	0,75	0,11	0,90	0,11
Poumons	3,50	0,46	3,75	0,38	5,00	0,46	3,43	0,45	4,29	0,51	3,50	0,29	3,10	0,45	5,92	0,69
Cœur	3,00	0,39	3,75	0,38	4,72	0,43	3,28	0,43	3,12	0,37	4,50	0,37	3,00	0,43	4,18	0,49
Foie	7,50	0,99	9,00	0,89	10,05	0,92	8,42	1,09	8,62	1,01	12,50	1,03	8,15	1,18	14,04	1,65
Rate	1,50	0,20	1,50	0,15	1,95	0,18	0,93	0,12	1,05	0,12	1,50	0,12	1,15	0,17	1,69	0,20
Estomacs — Bonnet	2,00	0,26	1,75	0,17	2,10	0,19	1,24	0,16	1,33	0,16	2,25	0,19	2,00	0,29	2,96	0,34
Estomacs — Rumen	6,00	0,79	8,75	0,87	11,00	1,01	4,12	0,54	4,17	0,49	8,50	0,70	7,00	1,01	13,30	1,56
Estomacs — Feuillet	4,00	0,53	5,50	0,54	4,37	0,40	2,75	0,36	1,70	0,20	6,50	0,53	2,75	0,40	7,30	0,86
Estomacs — Caillette	1,50	0,20	2,75	0,27	3,68	0,34	1,67	0,22	2,14	0,25	2,50	0,21	1,90	0,28	2,47	0,29
Intestins — Grêle	2,00	0,26	4,75	0,47	5,75	0,53	2,84	0,37	3,16	0,37	3,00	0,25	3,80	0,55	6,43	0,76
Intestins — Gros	2,50	0,33	2,50	0,25	3,98	0,37	1,92	0,24	2,10	0,25	2,50	0,21	2,50	0,36	3,47	0,42
Rognons — de chair	1,00	0,13	1,34	0,13	1,20	0,11	1,00	0,13	1,10	0,13	1,00	0,08	1,15	0,17	1,25	0,15
Rognons — de graisse	14,00	1,84	19,70	2,15	1,50	1,78	15,60	2,03	21,60	2,54	30,00	2,47	20,00	2,90	17,00	2,00
Cervelle	0,50	0,07	0,60	0,06	0,50	0,05	0,39	0,04	0,42	0,05	0,50	0,04	0,39	0,06	0,42	0,05
	53,25	7,01	74,39	7,37	80,27	7,36	52,71	6,85	61,19	7,20	85,75	7,06	61,74	8,95	87,38	10,28
Parties accessoires : fèces et pertes. — Canard	4,00	0,72	5,50	0,54	4,00	0, 37	3,50	0,46	3,29	0,39	4,00	0,33	3,50	0,51	3,90	0,46
Pénis	0,50	0,07	0,50	0,05	0,38	0,03	0,40	0,05	0,59	0,07	0,50	0,04	0,30	0,04	0,34	0,04
Pieds et patins	6,50	1,25	12,50	1,24	12,38	1,18	7,85	1,02	8.60	1,01	12,50	1,03	10,00	1,45	12,25	1,44
	14,00	2,04	18,50	1,83	17,26	1,58	11,75	1,53	12,48	1,47	17,00	1,40	13,80	2,00	16,49	1,94
Excréments	50,00	6,59	52,00	5,15	80,00	7,34	26,00	3,38	28,00	3,29	45,50	3,75	47,00	6,81	75,00	8,82
Déchets, épluchures, évaporations	10,25	1,35	9,11	0,89	17,50	1,61	19,66	2,34	23,33	2,74	18,00	1,46	7,46	1,08	22,18	2,61
	74,25		79,61		114,76		57,41		63,81		80,50		68,26		113,62	

II

RÉSULTATS GÉNÉRAUX D'ABATAGE.

Organes internes. — Comme l'indiquent les renseignements fournis par l'abatage, les organes contenus dans les grandes cavités du corps subissent des variations dans leur poids individuel, en raison de l'âge, du poids vif, de la conformation des bœufs. Mais, si les poids absolus changent et donnent un total différent par tête, les poids relatifs de l'ensemble des organes internes par rapport à 100 du poids vivant, restent sensiblement les mêmes pour chaque animal.

Ainsi, parmi ces huit bœufs, les poids des organes internes présentent des diversités comprises entre 53 et 87 kilogrammes; le rapport de ces poids variables demeure, au contraire, pour un même poids vivant, à très-peu près constant pour tous les bœufs : il est de 7 à 8 pour 100.

Le tableau suivant résume ces faits et classe les races d'après les poids absolus et les poids relatifs des organes internes.

TABLEAU C.

RACES.	POIDS des organes internes.	RACES.	RAPPORTS des poids des organes internes à 100 de poids vif.
Hereford	52k,71	Hereford	6,85 0/0
Landais	53 ,25	Landais	7,01
Durham	61 ,19	Angus	7,06
Salers	61 ,74	Durham	7,20
Normand A	74 ,39	Charolais	7,36
Charolais	80 ,27	Normand A	7,37
Angus	85 ,75	Salers	8,95
Normand B	87 ,38	Normand B	10,28
En moyenne par tête	69 ,585	En moyenne par tête	7,76

On remarque ici que deux animaux, le Salers et le Normand B, font exception à la loi que semblent suivre les autres bœufs; les

poids relatifs de leurs organes internes dépassent de 1 à 2k5 la moyenne commune.

Ces deux bœufs sont ceux qui ont été achetés sur le marché d'approvisionnement; leur engraissement était beaucoup moins avancé que celui des animaux du concours; leurs poids acquis étaient, par conséquent, restés inférieurs aux poids des bœufs en plein embonpoint, et qu'ils auraient pu atteindre eux-mêmes par une accumulation plus considérable de graisse. Il est clair que, pour un poids vif moindre, le rapport des organes internes à 100 de ce poids a dû s'élever. Il faut ajouter que les poids absolus de ces organes étaient par eux-mêmes, chez le Normand B, plus forts qu'ils ne l'étaient pour les autres animaux, ce qui ne trahit pas une grande distinction de structure.

Quant aux deux groupes français et britannique, le rapport du poids des organes internes est, pour 100 de poids vif, un peu plus faible dans le second que dans le premier, ce qui semblerait indiquer que les bœufs de races étrangères ont une masse viscérale moins développée qu'elle ne l'est pour nos races indigènes.

Un bœuf du groupe indigène, le Landais, se rapproche beaucoup, sur ce point d'organisation, comme sur beaucoup d'autres, des bœufs britanniques.

Estomacs. — Intestins. — Si l'on pouvait prendre le poids de chacun des quatre estomacs, chez les ruminants, comme synonyme de leur ampleur, on les classerait, avec Cuvier, dans l'ordre suivant : Panse ou Rumen et Sorbier; Caillette, le second par la grandeur; Feuillet, le troisième; Bonnet, le plus petit des quatre[1].

Mais, dans les résultats constatés pour nos huit bœufs, le poids de chaque réservoir stomacal s'éloigne de la classification de l'illustre anatomiste. En effet, les quatre estomacs se rangent de la manière suivante, en rapport moyen, pour 100 de poids vif :

Rumen.	0,87
Feuillet.	0,47
Caillette.	0,26
Bonnet.	0,26

1. Cuvier, *Anatomie comparée*, t. IV, 2e partie ; 67-68.

Voici comment, pour chaque poche stomacale, se classent les races en poids absolus et relatifs (tabl. D) :

Les poids relatifs les plus faibles, pour le poids total des quatre estomacs, sont ceux que présentent les trois races britanniques, auxquelles se rattache, comme je l'ai déjà fait remarquer, notre race landaise. Les poids relatifs les plus élevés sont offerts par les deux Normands, le Charolais et le Salers. Le Normand B est celui de nos huit bœufs dont l'ensemble des estomacs donne le poids le plus considérable par rapport à son poids vif.

Pour chaque estomac, en particulier, et sauf quelques exceptions, nous remarquons la même répartition de nos bœufs : ce sont, en moyenne, les races britanniques, spécialement pour les poids relatifs, qui forment le premier groupe où ces poids sont le moins élevés; nos animaux indigènes forment le second. A une seule déviation près, le Normand B accuse le rapport le plus fort du poids de chacune de ses poches stomacales à 100 de poids vif.

Intestins. — Les Ruminants, selon Cuvier[1], sont généralement ceux de tous les mammifères chez lesquels le canal intestinal est le plus long. La longueur du corps est, chez le bœuf ordinaire, à celle du canal intestinal : : 1 : 22.

Notre grand naturaliste ne s'est pas trompé de beaucoup, comme le montre le tableau D, puisque le rapport moyen dont il a donné un exemple est ici, pour les sept bœufs mesurés, : : 1 : 24,49. Ce rapport varie de : : 1 : 21,13 à : : 1 : 27,54, dans le même ordre, à très-peu près, où se placent les bœufs pour la longueur totale du canal intestinal, la longueur du corps et la taille au garrot.

Quant au poids des intestins, il n'a aucune relation avec leur longueur; mais ce qui est vrai, dans le classement des races pour le poids des estomacs, reste encore vrai pour le poids du tube intestinal. Le tableau E donne les poids absolus et relatifs à 100 de poids vivant de l'intestin grêle et du gros intestin isolément, et réunis en un poids total.

1. Cuvier, *Anatomie comparée*, t. IV, 2e partie ; 177-195.

TABLEAU D. — *Poids des estomacs. — Classement des races d'après ces poids.*

RACES.	POIDS du rumen.	RACES.	RAPPORT du poids du rumen à 100 de poids vif.	RACES.	POIDS du feuillet.	RACES.	RAPPORT du poids du feuillet à 100 de poids vif.	RACES.	POIDS total des quatre estomacs.
	k.				k.				k.
Hereford........	4,12	Durham.........	0,49	Durham.........	1,70	Durham.........	0,20	Durham.........	9,34
Durham.........	4,17	Hereford........	0,54	Hereford........	2,75	Hereford........	0,36	Hereford........	9,78
Landais.........	6,00	Angus..........	0,70	Salers..........	2,75	Salers..........	0,40	Landais.........	13,50
Salers..........	7,00	Landais.........	0,79	Landais.........	4,00	Charolais........	0,40	Salers..........	13,65
Angus..........	8,50	Normand A......	0,87	Charolais........	4,37	Landais.........	0,53	Normand A......	18,75
Normand A......	8,75	Salers..........	1,01	Normand A......	5,50	Angus..........	0,53	Angus..........	19,75
Charolais........	11,00	Charolais........	1,01	Angus..........	6,50	Normand A......	0,54	Charolais........	21,15
Normand B......	13,30	Normand B......	1,56	Normand B......	7,30	Normand B......	0,86	Normand B......	26,03
Moyenne par tête.	7,80	Moyenne par tête.	0,87	Moyenne par tête.	4,36	Moyenne par tête.	0,47	Moyenne par tête.	16,49

RACES.	POIDS de la caillette.	RACES.	RAPPORT du poids de la caillette à 100 de poids vif.	RACES.	POIDS du bonnet.	RACES.	RAPPORT du poids du bonnet à 100 de poids vif.	RACES.	RAPPORT du poids des quatre estomacs à 100 de poids vif.
	k.				k.				
Landais.........	1,50	Landais.........	0,20	Hereford.......	1,24	Hereford........	0,16	Durham.........	1,10
Hereford........	1,67	Angus..........	0,21	Durham.........	1,33	Durham.........	0,16	Hereford........	1,28
Salers..........	1,90	Hereford........	0,22	Normand A......	1,75	Normand A......	0,17	Angus..........	1,63
Durham.........	2,14	Durham.........	0,25	Landais.........	2,00	Angus..........	0,19	Landais.........	1,78
Normand B......	2,47	Normand A......	0,27	Salers..........	2,00	Charolais........	0,19	Normand A......	1,85
Angus..........	2,50	Salers..........	0,28	Charolais........	2,10	Landais.........	0,26	Charolais........	1,94
Normand A......	2,75	Normand B......	0,29	Angus..........	2,25	Salers..........	0,29	Salers..........	1,98
Charolais........	3,68	Charolais........	0,34	Normand B......	0,34	Normand B......	0,34	Normand B......	3,05
Moyenne par tête.	2,33	Moyenne par tête.	0,26	Moyenne par tête.	1,95	Moyenne par tête.	0,22	Moyenne par tête.	2,07

Tableau E. — *Poids des intestins grêles et gros. Classement des races d'après ces poids.*

RACES.	Poids des intestins grêles.	RACES.	Rapport du poids des intestins grêles à 100 de poids vif.	RACES.	Poids des gros intestins.	RACES.	Rapport du poids des gros intestins à 100 de poids vif.
	k.				k.		
Landais...	2,00	Angus....	0,25	Hereford..	1,92	Angus....	0,21
Hereford..	2,84	Landais...	0,26	Durham...	2,10	Hereford..	0,24
Angus....	3,00	Hereford..	0,37	Landais...	2,50	Durham...	0,25
Durham...	3,16	Durham...	0,37	Normand A.	2,50	Normand A.	0,25
Salers.....	3,80	Normand A.	0,47	Angus....	2,50	Landais...	0,33
Normand A.	4,75	Charolais..	0,53	Salers....	2,50	Salers....	0,36
Charolais..	5,75	Salers....	0,55	Normand B.	3,47	Charolais..	0,37
Normand B.	6,43	Normand B.	0,76	Charolais..	3,98	Normand B.	0,42
Moy. par tête	3,965	Moy. par tête	0,445	Moy. par tête	2,68	Moy. par tête	0,30

RACES.	POIDS TOTAL des intestins grêles et gros.	RACES.	Rapport du poids total des intestins grêles et gros à 100 de poids vif.
	k.		
Landais..............	4,50	Angus..............	0,46
Hereford............	4,76	Landais............	0,59
Durham..............	5,26	Hereford...........	0,61
Angus...............	5,50	Durham.............	0,62
Salers..............	6,30	Normand A..........	0,72
Normand A...........	7,25	Charolais..........	0,90
Charolais...........	9,73	Salers.............	0,91
Normand B...........	9,90	Normand B..........	1,18
Moyenne par tête.....	6,65	Moyenne par tête....	0,75

C'est le groupe des trois bœufs britanniques dans lequel les poids absolus, et surtout les poids relatifs des intestins, sont le moins élevés. Le Landais prend parfois rang dans ce premier groupe des races précoces, ou même se place avant, rarement après.

Nos deux bœufs indigènes, Normand A et Charolais, se rapprochent, le premier du groupe britannique, le second du troisième groupe formé par le Salers et le Normand B.. A une seule

exception près, le bœuf Normand accuse les poids absolus et relatifs les plus grands. Le Salers oscille un peu dans sa position avec le Charolais, mais ne quitte guère le voisinage du Normand B, acheté comme lui sur le marché d'approvisionnement.

Ces poids plus considérables des principaux organes abdominaux dénotent, chez les bœufs qui les présentent, une sorte de grossièreté relative. La comparaison du Normand A avec le Normand B fournit un exemple de ce que peuvent produire, sous ce rapport, des conditions différentes d'élevage et d'engraissement. En effet, le Normand A a été préparé pour le concours, et, par conséquent, il l'a été de longue main, recevant certainement des rations plus nutritives et moins volumineuses que son congénère le Normand B. Celui-ci est arrivé sur notre marché, engraissé seulement comme le sont les bêtes de bonne qualité de la race. Aussi il n'arrive que rarement, si même il arrive, que le Normand A l'emporte sur le Normand B par une finesse générale plus grande, une plus grande légèreté dans les viscères qui subissent plus spécialement l'influence des aliments.

Poumons.—Rapports qui existent entre le développement de la poitrine, la conformation et les aptitudes des races bovines.—Cette question a été déjà l'objet spécial d'une étude qui m'a conduit à des conclusions qui se reproduisent identiquement les mêmes dans le présent mémoire, bien qu'elles résultent des faits présentés par un très-petit nombre de têtes seulement, au lieu d'avoir pour base des observations fournies par plus de cent têtes de bœufs [1]. Cette concordance a une signification assez nette pour qu'il ne soit pas inutile de la mettre ici en évidence.

Pour nos huit bœufs, comme pour les bœufs plus nombreux de mon précédent travail, il n'existe aucun rapport constant entre le développement des poumons et celui de la région thoracique. C'est là un fait que rend évident le tableau G dans le classement des races, d'après le poids des poumons, comparativement avec la circonférence du thorax.

1. *Observations* sur les rapports qui existent entre le développement de la poitrine, la conformation et les aptitudes des races bovines. — Lues à l'Académie des sciences, dans les séances du 11 février et du 18 mars 1861. Publiées dans les *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, n° 5, juillet 1861, p. 1-77.

Tableau G. — *Circonférence thoracique. — Poids absolus et relatifs des poumons. — Dimensions principales et poids vif et net d'abattoir. — Classement des races d'après ces données.*

RACES.	AGE.	RACES.	Poids absolus des poumons.	RACES.	Rapport du poids des poumons à 100 de poids vif.	RACES.	Circonférence thoracique.	RACES.	Largeur des hanches.	RACES.	Taille au garrot.	RACES.	Longueur du corps de la nuque à la queue.	RACES.	Poids vif.	RACES.	Poids net d'abattoir.
	mois.		k		k		m		m		m		m		k		0/0
Hereford . .	39	Salers	3,10	Angus	0,29	Salers.	2,41	Salers	0,58	Durham . . .	1,41	Durham . . .	2,10	Salers	690	Normand B.	57,53
Durham . . .	41	Hereford . .	3,43	Normand A.	0,38	Normand B.	2,42	Durham . . .	0,60	Landais . . .	1,42	Hereford . .	2,10	Landais . . .	760	Landais . . .	60,53
Landais . . .	55	Landais . . .	3,50	Hereford . .	0,45	Landais . . .	2,50	Landais . . .	0,60	Hereford . .	1,45	Landais . . .	2,15	Hereford . .	770	Durham . . .	62,71
Angus	57	Angus	3,50	Salers	0,45	Durham . . .	2,68	Normand B.	0,61	Salers	1,50	Salers	2,25	Durham . . .	850	Salers	63,19
Salers	60	Normand A.	3,75	Charolais . .	0,46	(Le Charolais n'a pas été mesuré).	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	Normand B.	850	Charolais . .	63,30
Normand A.	64	Durham. . . .	4,29	Landais . . .	0,46	Hereford . .	2,72	Hereford . .	0,65	Angus	1,55	Angus	2,33	Normand A.	1010	Normand A.	63,86
Normand B.	72	Charolais . .	5,00	Durham . . .	0,51	Normand A.	2,83	Normand A.	0,70	Normand A.	1,57	Normand A.	2,40	Charolais . .	1090	Angus	64,03
Charolais . .	90	Normand B.	5,92	Normand B.	0,69	Angus	3,15	Angus	0,75	Normand B.	1,63	Normand B.	2,40	Angus	1215	Hereford . .	68,8[illegible]
Moyenne par tête.	60	Moyenne par tête.	4,06	Moyenne par tête.	0,46	Moyenne par tête.	2,67	Moyenne par tête.	0,64	Moyenne par tête.	1,51	Moyenne par tête.	2,25	Moyenne par tête.	905	Moyenne par tête.	63

Les poids vifs les plus élevés répondent généralement aux circonférences pectorales les plus grandes, indépendamment des autres dimensions du corps, largeur et hauteur. C'est ainsi que le Salers, dont l'ampleur thoracique est la plus petite (2m,41), a atteint le plus faible poids vif, 690 kilogr., tandis que, d'autre part, l'Angus, qui offre la plus grande circonférence de poitrine, donne le poids vif le plus fort, qui s'élève à 1215 kilog.

Un fait se produit ici, qui complète la signification de la circonférence thoracique relativement au poids acquis : c'est que, sauf une légère transposition, offerte par le Normand B, dans le classement des races, la largeur des hanches coïncide complétement avec l'ampleur de la poitrine, et, par conséquent, avec l'importance du poids vif. Résultat remarquable qui rattache toute l'ampleur du tronc à celle de la région du thorax, conformément aux lois physiologiques qui règlent la marche du développement de tout l'organisme.

La longueur du corps, de la nuque à la queue, est tout à fait d'accord avec la taille au garrot : le corps est moins long, la taille est moins élevée chez les animaux britanniques, auxquels se rattache le Landais; la taille plus haute des bœufs de nos races coïncide avec une longueur plus grande du corps.

Or, j'ai montré antérieurement que le rendement des bœufs en poids net est d'autant plus considérable, par rapport au poids vif, que la taille est moins haute. Nous constatons ici plusieurs exemples propres à justifier cette observation. Le plus faible rendement en poids net est celui du Normand B : il est de 57,53 pour 100 du poids vivant, et la taille de cet animal au garrot est la plus grande parmi nos huit bœufs. La taille, au contraire, est moins élevée, et le poids net d'abattoir s'élève chez les races britanniques et celles de nos races indigènes qui s'y rattachent le plus.

L'ampleur de la poitrine, une grande largeur du tronc dans la région des hanches, une taille qui maintienne le corps près de terre, sont donc les meilleures conditions pour obtenir des poids élevés, avec des bêtes de boucherie, supérieures comme utilisateurs de leur ration.

Relativement aux poumons, il paraît établi qu'ils ne suivent pas, dans leur accroissement, la marche progressive de l'ampleur thoracique, de l'élargissement du tronc en tout sens, de l'aug-

mentation du poids. L'observation contredit cette assertion, que le volume de la poitrine donne la mesure du volume des poumons; elle montre seulement que le développement de ces organes semble être lié à certaines conditions physiologiques d'activité vitale, de taille, de poids, d'âge, d'aptitude et de race.

Ainsi, pour un même poids vivant, les poumons sont d'autant plus volumineux, que la taille est plus haute. Le Normand B nous en fournit un exemple : cet animal est le plus grand des huit bœufs dont nous nous occupons maintenant, comme nous l'avons déjà dit : il mesure 1m,63 au garrot. En même temps, c'est lui dont les poumons donnaient le poids absolu le plus fort, le poids relatif le plus grand par rapport à 100 du poids vivant.

Chez des animaux voisins d'âge et dans des conditions comparables, on trouve ordinairement que le poids *absolu*, et constamment que le poids *relatif* des poumons, par rapport à un même poids vif, sont plus faibles, quand la circonférence thoracique est plus grande, plus élevés quand cette même circonférence est plus petite.

C'est une conclusion qui ressort de la comparaison de nos deux bœufs Hereford et Durham, âgés, le premier de 39 mois, le second de 41 mois, tous deux arrivés à un état d'engraissement également avancé. Or, le Hereford, celui des deux bœufs dont la circonférence thoracique est la plus grande, mesurant 2m,72, a des poumons dont le poids absolu est de 3k,43, et le poids relatatif de 0,45 pour 100 du poids vif. Ces nombres sont plus faibles que pour le Durham, où le poids absolu est de 4k,29, et le poids relatif de 0,51, avec une circonférence pectorale moindre, égale à 2m,68.

Le Salers et le Normand A présentent des faits analogues. Ils sont voisins d'âge, le Salers ayant 60 mois, et le Normand A 64 mois, avec une différence de quatre mois entre eux. Le Salers, dont le développement de la région pectorale est le plus petit de tous, ayant une circonférence de 2m,41, accuse un rapport relatif élevé, de 0,45 pour 100 du poids vif, tandis que chez le Normand A, dont la circonférence thoracique est de 2m,83, une des plus grandes, le poids relatif des poumons n'est que de 0,38.

Il en est encore ainsi, si l'on compare, dans des conditions analogues d'âge, le Landais âgé de 55 mois, et l'Augus de 57. Le premier des deux a une circonférence pectorale de 2m,50 ; le se-

cond mesure la plus ample circonférence, qui est de $3^m,15$. Le poids absolu des poumons est le même, pour l'un et pour l'autre, égal à $3^k,50$; mais le poids, par rapport à 100 du poids vif, est de 0,46 pour le Landais, et de 0,29 pour l'Angus. A la plus grande ampleur du thorax correspond de la sorte le plus faible poids relatif des poumons.

Enfin, les deux bœufs dont les circonférences de poitrine sont les plus grandes et les poids vifs les plus élevés, le Normand A et l'Angus, présentent des faits identiques. Pour le Normand A, le contour thoracique est de $2^m,83$; il est de $3^m,15$ pour l'Angus. Le poids absolu des poumons est de $3^k,75$ pour le Normand, et de $3^k,50$ pour l'Angus. L'un et l'autre accusent les deux poids relatifs les plus faibles : 0,38 et 0,29 pour 100 du poids vif. A la circonférence pectorale la plus grande correspondent donc à la fois un poids absolu et un poids relatif moindres.

On constate, pour nos huit bœufs, un fait du même ordre que celui qui s'est produit pour les bœufs en plus grand nombre, qui est l'objet de mes observations spéciales sur le poids des poumons. Il consiste en ce que, dans les races les moins pesantes, comparées aux plus lourdes, les poumons acquièrent un poids proportionnellement plus élevé, par rapport au poids vif.

Chez les trois bœufs les moins pesants, le Salers, le Landais et l'Hereford, dont le poids moyen est de 740 kilogr., les poumons prennent un poids relatif plus fort, par rapport au poids vivant, dans le rapport de 1,31 à 100.

Pour les deux bœufs, le Durham et le Normand B, qui ont un poids vif semblable, un peu plus fort que tout ce groupe, et égal à 850 kilogr., le poids relatif des poumons est 1,20 pour 100; rapport plus faible pour un poids vif plus élevé.

Pour les trois bœufs les plus pesants, le Normand A, le Charolais et l'Angus, dont la moyenne pour le poids vif est de 1105 kilogr., le poids des poumons est de 1,13 par rapport à 100 du poids vivant. Le plus faible poids relatif des poumons se rencontre donc chez les bœufs d'un poids total plus grand.

D'après une autre conclusion de mon précédent mémoire, parmi les animaux de même race, le plus faible poids relatif des poumons se rencontre chez ceux qui ont le poids vif le plus élevé, et le plus fort poids relatif des poumons chez ceux qui ont le poids vif le plus faible.

Nous ne pouvons ici établir la comparaison que sur les deu Normands. C'est pour le Normand A, le plus lourd des deux e dont le poids atteint 1010 kilogr., que le poids relatif s'élèv moins; il est de 0,38 pour 100. Le Normand B, au contraire dont le poids vif n'est que de 850 kilogr., aura le poids relatif d poumons le plus fort de tous ceux que nous constatons chez no six autres bœufs; il est de 0,69 pour 100 du poids vivant. Cec est vrai pour les poids absolus des poumons comme pour l poids relatifs : les poumons du Normand A pesaient 3k,75; ceu du Normand B, 5k,92.

Chez les animaux de races précoces, ou s'approchant de la pré cocité, le poids des poumons est absolument et relativement plu faible que chez les animaux des races tardives. Un rapproche ment entre les races britanniques, auxquelles s'annexent la rac landaise d'une part, et les races indigènes de l'autre, met ce fai en évidence, comme l'indique le petit tableau suivant :

TABLEAU H.

RACES.	AGE.	POIDS DES POUMONS.	
		Absolus.	Relatifs.
Hereford	39 mois.	3k,43	0,45 0/0
Durham	41 —	4 ,29	0,51
Angus	57 —	3 ,50	0,29
Landais	55 —	3 ,50	0,46
Moyenne par tête	48 mois.	3 ,68	0,43
Salers	60 mois.	3 ,10	0,45
Normand A	64 —	3 ,75	0,38
Normand B	72 —	5 ,92	0,69
Charolais	90 —	5 ,00	0,46
Moyenne par tête	72 mois.	4 ,44	0,50

Les races plus tardives, plus âgées de 24 mois que les races précoces, donnent un poids moyen absolu de poumons, de 0k, 76 plus fort, et un poids moyen relatif de 0, 07 pour 100 plus élevé.

Cette analyse des faits qui touchent à tout ce qui regarde l'influence de l'ampleur thoracique, justifie les propositions qui sont ressorties des observations que j'ai tirées déjà d'une étude spéciale sur la matière.

III

RÉSUMÉ DES CONCLUSIONS RELATIVES AUX FAITS GÉNÉRAUX D'ABATAGE.

— Les classements de bœufs à propos des questions successivement étudiées, conduisent à distinguer généralement trois groupes : celui des races indigènes ; celui des races britanniques, qui ont, les unes et les autres, figuré au concours des animaux gras ; et celui des deux bœufs, achetés sur le marché d'approvisionnement, comme terme de comparaison.

— Les deux bœufs achetés sur le marché, et appartenant aux races Salers et Normande, présentent une exception à la loi établie plus haut par un poids relatif plus élevé des organes internes proportionnellement à 100 du poids vif. Cette exception provient, sans doute, de ce que leur engraissement ayant été moins poussé, le poids vif resta plus faible, tandis que le poids des organes put augmenter.

— Les organes internes subissent des variations dans leur poids individuel, en raison de l'âge, de la conformation, du poids vif des bœufs. Mais, si le poids absolu d'un bœuf à un autre change, le poids relatif de l'ensemble des viscères, par rapport à 100 du poids vivant, demeure sensiblement constant pour chacun des bœufs, et le même pour tous.

— La masse viscérale est un peu moins développée dans le groupe des races britanniques, que pour nos races indigènes.

— Les poids relatifs les plus faibles, pour le poids total des quatre estomacs, sont ceux que présentent les trois races britanniques; les plus hauts s'observent chez nos races françaises, à l'exception de la race Landaise.

— La même répartition des bœufs a lieu pour chaque estomac en particulier, spécialement pour les poids relatifs : — les races britanniques présentent les poids les moins forts; les races indigènes accusent les poids relatifs les plus élevés.

— En prenant la longueur du corps pour unité, on trouve que

la longueur totale des intestins est à cette longueur du corps : : 1 : 24, 59 en moyenne, variant de : : 1 : 21, 13 à : : 1 : 27, 50.

— Les bœufs se classent dans un même ordre pour la longueur totale du canal intestinal, la longueur du corps, la taille au garrot.

— Le poids des intestins n'a aucune relation avec leur longueur; mais ce qui se produit dans le classement des races pour le poids des estomacs, reste encore vrai pour le poids du tube intestinal.

— Les poids absolus des intestins et surtout les poids rapportés à un même poids vif, sont moins élevés chez les races britanniques que chez les autres.

— Les poids plus considérables des principaux viscères abdominaux dénotent, chez les bœufs qui les présentent, une sorte de grossièreté relative.

— Il n'existe aucun rapport constant entre le développement des poumons et celui de la région thoracique.

— Les poids vifs les plus élevés répondent généralement aux circonférences pectorales les plus grandes et à la largeur aux hanches la plus considérable.

— La longueur du corps, de la nuque à la queue, est tout à fait d'accord avec la taille au garrot. Le corps est moins long, la taille est moins haute chez les races britanniques.

— D'où il résulte que les meilleures conditions pour obtenir des poids élevés, avec des bêtes de boucherie, supérieures comme utilisateurs de leur ration, sont l'ampleur de la poitrine, une grande largeur du tronc dans la région des hanches, une taille qui maintienne le corps près de terre.

— Les poumons ne suivent pas, dans leur accroissement, la marche progressive de l'ampleur thoracique, de l'élargissement du corps en tous sens, de l'augmentation du poids.

Ainsi, pour un même poids vivant, les poumons sont d'autant plus volumineux que la taille est plus haute.

— Pour des animaux voisins d'âge et dans des conditions comparables, le poids *absolu*, ordinairement, et presque toujours le poids *relatif* des poumons par rapport à un même poids vivant, sont plus faibles quand la circonférence thoracique est plus grande; plus forte, quand cette même circonférence est plus petite.

— Dans les races les moins pesantes comparées aux plus lourdes, les poumons acquièrent un poids proportionnellement plus élevé par rapport au poids vif.

— Parmi les animaux de même race, le plus petit poids relatif des poumons se rencontre chez ceux qui ont le poids vif le plus grand, et le plus fort poids des poumons chez ceux qui ont le moindre poids vif.

— Chez les animaux précoces pour la production de la viande, ou ceux qui s'approchent de la précocité, le poids des poumons est absolument et relativement plus faible que chez les animaux de races tardives.

Ces conclusions, qui reproduisent celles tirées précédemment de l'étude d'un bien plus grand nombre de têtes, concordent avec les résultats des expériences physiologiques sur les conditions de la respiration dans des cas divers. Elles découlent aussi des lois physiologiques qui règlent la marche du développement des animaux depuis leur naissance.

Nous avons distingué, à propos de presque tous les classements des races, deux ou trois groupes : celui des races britanniques; celui ou ceux des races indigènes. Nous avons remarqué souvent que le représentant de notre race Landaise se rapproche, dans beaucoup de cas, des races britanniques, ou se mêle avec elles dans divers classements.

On peut citer, sous ce rapport, des exemples qui se rapportent aux poids relatifs plus faibles que présentent les races britanniques pour le poids total des quatre estomacs;

Aux poids relatifs moins élevés du tube intestinal, chez ces mêmes races ;

A la moindre longueur du corps, à une taille moins haute;

Au fait du poids des poumons absolument et relativement plus faible chez les races précoces.

Notre race Landaise semble donc tendre, par plusieurs côtés et par d'autres points encore, vers un type plus précoce comme producteur de viande. La sélection et la spécialisation sont les moyens d'amélioration seuls employés.

IV

DÉBIT DU POIDS NET DE VIANDE A L'ÉTAL DU BOUCHER.

Quand le poids net a été isolé de tous les organes, placé dans l'état où nous l'avons laissé pour nous occuper d'abord de la structure intérieure de l'animal, et qu'il a été partagé en quatre quartiers, formés par les deux membres antérieurs, et par les deux moitiés du tronc, il quitte l'abattoir pour être conduit à l'étal, où la masse de viande qui le compose est débitée aux consommateurs.

Ce poids net, ce poids des quatre quartiers, ce poids de viande, arrive intact chez le débitant. Il représente vraiment le rendement important de la machine animale, et le moment est venu de juger de la valeur réelle du produit, pour la quantité et la qualité.

Pour répondre à toutes les préoccupations de l'éleveur, à tous les besoins du consommateur, pour arriver à une appréciation complète du degré d'amélioration où les races sont arrivées et établir entre elles une comparaison utile, il ne suffit pas de déterminer le poids total de viande livrée à l'alimentation, il faut analyser le produit dans les parties essentielles qui le constituent : la chair, les os et la graisse formant déchet.

C'est dans le but d'obtenir ces renseignements précis sur toutes ces questions zootechniques et économiques, qu'a été entreprise l'étude du débit de la viande, de la valeur de chaque morceau, et dont je me propose d'indiquer maintenant les résultats.

Avant d'entrer dans l'examen de la coupe de la viande, pratiquée selon les habitudes du commerce de Paris, je présenterai d'abord l'ensemble des faits constatés, de manière à donner une idée générale du rendement par tête, et à fournir un guide qui permette de saisir ensuite les détails.

Poids net à l'étal. — Le poids net qui avait été déterminé à l'abattoir le fut à nouveau chez le débitant ; on constata quelques modifications dans les deux pesées, comme l'indique le petit tableau suivant :

TABLEAU I.

RACES.	AGE.	POIDS vif.	POIDS NET d'abattoir.		POIDS NET d'étal.		DIFFÉRENCES entre les 2 poids nets	
			Poids absolu.	Rapport à 100 de poids vif.	Poids absolu.	Rapport à 100 de poids vif.	d'abattoir.	d'étal.
	mois.			pour 100.		pour 100.		
Hereford....	39	770k	530k	68,83	520k	67,53	+ 10k	
Angus......	57	1215	778	64,03	784	64,53		+ 6k
Normand A..	64	1010	645	63,86	633	62,67	+ 12	
Charolais....	90	1090	690	63,30	654	60,00	+ 36	
Salers......	60	690	436	63,19	432	67,61	+ 4	
Durham.....	41	850	533	62,71	543	63,88		+10
Landais.....	55	760	460	60,53	459	60,53	+ 1	
Normand B..	72	850	489	57,53	480	56,47	+ 9	

Il résulte, de la comparaison de ces chiffres, que, pour six bœufs, le poids net d'étal avait perdu sur le poids net d'abattoir, tandis que les deux autres bœufs avaient gagné en poids net d'étal.

Les différences entre les pertes et les gains ne sont que légères, à l'exception pourtant du Charolais, qui diminua de 36 kil. dans le temps qui sépara l'abatage du débit. Il est probable que ces différences sont dues, en partie, à une évaporation plus ou moins active; peut-être aussi à quelques erreurs dans les notes nombreuses qu'il faut prendre très-rapidement à l'abattoir. En tout cas, c'est du poids net d'étal qu'il s'agira uniquement ici.

Cette expression devient synonyme du poids absolu de viande, de la somme de morceaux fournie par chaque bœuf. Voici quel est le poids total de ces morceaux, décomposé en poids total de chair, d'os et de graisse non comestible, à laquelle nous donnerons dorénavant le nom de graisse-déchet.

TABLEAU J.

RACES.	POIDS TOTAL des morceaux d'étal.	POIDS TOTAL de chair.	POIDS TOTAL d'os.	POIDS TOTAL de graisse-déchet.
Landais	459 k	327 k,47	54 k,38	77 k,24
Hereford	520	313 ,24	51 ,09	155 ,14
Durham	543	323 ,52	54 ,83	165 ,00
Normand A	633	425 ,15	78 ,54	129 ,70
Charolais	654	457 ,22	76 ,63	120 ,16
Angus	784	476 ,38	94 ,36	213 ,20
Salers	432	314 ,65	60 ,44	57 ,32
Normand B	480	338 ,01	78 ,89	63 ,44
Total	4505	2975 ,64	549 ,16	981 ,20

Rapportés à 100 du poids net d'étal, c'est-à-dire à 100 du poids total des morceaux par tête de bœuf, les nombres qui sont groupés dans le tableau précédent donnent une idée comparative des rendements individuels; ils permettent d'établir le rendement total de nos huit animaux, proportionnellement aux parties qui constituent la viande.

TABLEAU K. — *Poids pour 100 du poids net d'étal.*

RACES.			POIDS total des morceaux.	RAPPORT du poids de chair à 100 des morceaux.	RAPPORT du poids d'os à 100 des morceaux.	RAPPORT du poids de graisse-dechet à 100 des morceaux.
Bœufs du concours de boucherie.	indigènes.	Landais	100	71,33	11,84	16,83
		Charolais	»	69,92	11,70	18.38
		Normand A.	»	67,12	12,40	20,48
	britanniques.	Angus	»	60,77	12,03	27,20
		Hereford	»	60,31	9,83	29,86
		Durham	»	59,54	10,09	30,37
Bœufs achetés sur un des marchés d'approvisionnement.		Normand B.	»	70,37	16,42	13,21
		Salers	»	72,77	13,97	13,26
Moyenne pour les huit bœufs			100	66,49	12,31	21,20

Au premier coup d'œil jeté sur ce tableau, les faits se grou-

pent immédiatement et prennent un sens. En n'examinant d'abord que les six bœufs de concours, on voit que les trois animaux de races britanniques donnent le plus faible rapport du poids de chair à 100 des morceaux, et que les trois bœufs indigènes accusent un rapport plus élevé.

Les nombres qui traduisent ces rapports sont très-voisins dans chaque groupe, mais diffèrent d'un groupe à l'autre : ils sont très-sensiblement égaux, en moyenne, à 60 de chair pour 100 de la totalité des morceaux débités, dans les races britanniques, et à une moyenne d'un peu plus de 69 pour 100 dans les races indigènes.

Cette différence, assez prononcée pour devenir ici caractéristique, s'explique par les chiffres des deux colonnes voisines.

De même que le rendement en chair est plus faible dans le groupe britannique que dans celui des races indigènes, le rapport du poids des os à 100 des morceaux est aussi moins élevé chez les bœufs d'origine étrangère que chez ceux qui sont nés dans notre pays. Il est d'un peu plus de 10 pour 100 dans le groupe des bœufs britanniques, et dépasse faiblement 12 p. 100 dans celui des bœufs français.

Ainsi, d'après cette double constatation, les animaux qui appartiennent à nos races ont donné un rapport plus élevé du poids de chair et du poids d'os pour 100 du poids total des morceaux entiers; les bœufs de races britanniques présentent des rapports plus faibles du poids de chair et du poids d'os, relativement au même poids net d'étal.

Ce qui explique, en partie, ces différences, c'est évidemment la proportion pour laquelle la graisse-déchet entre dans le poids total des morceaux. Ici nous retrouvons nos deux groupes : le poids relatif de graisse que n'accepte pas le consommateur est notamment plus élevé dans le groupe britannique, plus faible dans le groupe indigène. Pour 100 des morceaux, le rapport pour les bœufs des races étrangères est de 27 à 30; pour le même poids, le rapport chez les bœufs français est de 17 à 20 seulement.

Ainsi, chez les races britanniques, moins de chair, moins d'os, plus de graisse-déchet pour le même poids des morceaux débités. Chez nos races indigènes, plus de chair, plus d'os, moins de graisse dans un même poids de viande nette d'étal.

Ces résultats généraux me semblent permettre de définir les races dont nous nous occupons dans leur valeur comparée sommaire. Ils se complètent par une observation capitale.

Dans les races britanniques, l'âge moyen où ces faits sont acquis est de 45 à 46 mois, 3 ans et demi à peu près, et deux animaux n'ont atteint que 39 et 41 mois, 3 ans et 3 mois, 3 ans et 5 mois.

Dans le groupe indigène, l'âge moyen où les données correspondantes se produisent est de 69 à 70 mois, c'est-à-dire 5 ans 9 mois à 5 ans 10 mois; en moyenne, 5 ans 9 mois et demi. Le Charolais est âgé de 90 mois, ou 7 ans et demi; mais le Landais ne compte que 55 mois, ou 4 ans et 7 mois. C'est encore un côté par lequel le Landais touche au type des animaux spécialement destinés à la production de la viande.

On constate donc, d'après les observations résumées plus haut, une différence de 2 ans 3 mois et demi en faveur des races britanniques.

Donc les races britanniques sont plus précoces communément que les races de notre pays. Nous verrons comment les faits expliquent cette précocité plus grande.

Quant aux deux bœufs, Salers et Normand B, ils fournissent des renseignements qui complètent l'explication des faits que nous venons de comparer.

Le rapport du poids de chair à 100 du poids total des morceaux est très-élevé pour chacun de ces deux animaux. Il est d'un peu plus de 70 pour le Normand, et il atteint près de 73 pour le Salers.

Pour les os, les rapports sont aussi plus élevés, suivant la tendance de nos races. Le Normand B donne plus de 16 d'os pour 100 des morceaux; le Salers donne 14 d'os pour le même poids.

Il y a donc sensiblement plus de chair et plus d'os chez ces deux animaux que chez les six bœufs dont nous venons de parler. Mais le poids relatif de graisse-déchet est encore plus faible dans les deux bœufs achetés sur le marché que dans le groupe des trois races indigènes du concours. Ce rapport ne dépasse guère 13 pour 100 du poids net d'étal.

C'est là une sorte de compensation qui explique comment se sont élevés les poids relatifs de chair et d'os pour nos deux bœufs de marché, et cette compensation elle-même résulte de

l'état d'embonpoint beaucoup moins prononcé chez ces deux animaux que chez les bêtes de concours. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Catégories dans la valeur des viandes. — Jusqu'à présent nous n'avons parlé que des morceaux qui forment le poids net d'étal, sans rien distinguer autre chose dans la masse que ses éléments organiques de composition ; nous voulions d'abord établir une comparaison sommaire entre les races étudiées.

Mais tous les morceaux des diverses parties du corps n'ont pas une même valeur comme produit comestible, comme répondant aux habitudes locales, et surtout, eu égard à leur constitution intime, à leur rôle physiologique : toutes qualités qui se tiennent entre elles, quelques-unes comme des effets à leur cause.

On a donc fondé une classification sur la nature et les propriétés des viandes : quatre *catégories* de qualité ont été communément reconnues, et c'est sous cette qualification que les morceaux prennent rang dans l'échelle de valeur. C'est aussi d'après ces bases qu'a été dressé le tableau qui donne, conformément à nos observations, pour chaque bœuf, le poids et la décomposition de chaque morceau débité. Il n'a pas fallu moins de 864 pesées pour que le groupement des morceaux en catégories, leur dépeçage, leur désossage, leur dégraissage, devinssent possibles et clairs.

Les différences de qualité consacrées par l'établissement des *catégories* ne sont point arbitraires ; elles se fondent sur la nature des parties d'où proviennent les morceaux, et cette nature elle-même dérive de plusieurs conditions anatomiques et physiologiques. Ainsi, les morceaux de qualité tout à fait supérieure sont formés par des muscles qui sont appelés à une action obscure et faible, ou constitués de façon à ce que toute action leur soit facile. Les morceaux de qualité inférieure sont ceux des membres qui agissent le plus, ceux du cou, dont les fibres deviennent le plus souvent coriaces.

D'autre part, ce sont aussi les masses musculaires les plus épaisses, les plus riches en fibres, les plus imprégnées des liquides nourriciers, les moins fatiguées dans l'exercice fonctionnel qui leur est propre, qui produisent la meilleure viande. Les

TABLEAU L. — *Poids et indications des os dans les morceaux de l'étal qui en contiennent.*

	OS QUI CONSTITUENT LE SQUELETTE.	BOEUFS PRIMÉS A POISSY, EN 1862. RACES FRANÇAISES.			RACES BRITANNIQUES.			BOEUFS DE RACES FRANÇAISES approvisionnant ordinairement les marchés de Paris.		TOTAL du POIDS DES OS des morceaux pour chacun des 8 bœufs.
		Landais.	Normand A.	Charolais.	Hereford.	Durham.	Angus.	Salers.	Normand B.	
		k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
1re Catégorie.	**Culotte**. Partie postérieure du sacrum et premières vertèbres coccygiennes. Portion d'ilium	3,30	5,20	4,90	3,36	4,50	3,60	3.80	4,64	33.30
	Gîte à la noix. Une faible partie d'ischium	0,06	0,54	0,40	0,04	0,10	»	0,28	0,56	1,98
	Tranche grasse. Fémur, la rotule forme un morceau à part, nommé la nourrice	4,84	6,74	7,66	5,64	5,30	7,40	6,10	7,64	51,32
	Tende de tranche. Articulation coxo-fémorale, avec le sommet du trochonte	1,34	2,16	1,90	1,00	1,10	3,10	1,30	1,86	13,76
	Faux-filet. Les 5 vertèbres lombaires; faible partie d'ilium; partie antérieure du sacrum	3,80	4,84	4,70	3,30	3,20	7,40	4,26	5,44	36,94
		13,34	19.48	19,56	13,34	14,20	21,50	15,74	20,14	137,30
2e Catégorie.	**Train de côtes**. Les 7 dernières vertèbres dorsales, et partie supérieure des 7 dernières côtes	6,70	10,54	10,50	7,20	5,90	22.40	7,70	11,54	82,48
	Derrière de paleron. Partie supérieure du scapulum; le cartilage tout entier	1,34	1,90	1,70	1,06	1,00	2,10	1,24	1,60	11,94
	Queue de gîte. Partie inférieure de l'humérus et l'olécrane entier	1,80	2,24	2,40	1,74	1,74	2,60	1,94	3,16	17,62
	Macreuse. Articulation scapulo-humérale; partie inférieure du scapulum, et supérieure de l'humérus	3,90	5,94	7,00	4,14	4,44	5,80	4,80	6.66	42,68
	Bavette d'aloyau. Cartilages des 3 dernières côtes	0,34	0,80	0,66	0,60	0,34	1,11	0,66	0,56	5,07
	Plats de côtes découvertes. Partie moyenne de la 3e à 7e côte	1,00	1,00	1,40	0,80	0,84	1,30	0,76	0,86	7,96
		15,08	22,42	23,66	15,54	14,26	35,31	17.10	24,38	167,75

3e Catégorie.	**Gîte de devant.** Cubitus et radius, moins l'olécrane....	4,84	4,50	4,80	3,34	3,64	5,00	4,04	5,10	35,26
	Gîte de derrière. Tibia et os du jarret. La crosse est composée de l'articulation du jarret, et de la portion inférieure du tibia..........................	3,44	6,70	8,10	4,80	5,84	8,00	6,10	6,54	49,52
	Plats de côtes couvertes. Partie moyenne des dernières côtes..................................	1,24	1,34	1,64	0,84	1,30	2,80	0,84	1,14	11,14
	Gros-bout. Partie antérieure du sternum, et partie inférieure des 3 premières côtes....................	3,46	6,10	3,84	2,20	3,44	4,90	2,10	2,86	28,90
	Tendron. Partie cartilagineuse des côtes sternales et portion postérieure du sternum..................	1,60	2,56	1,96	1,74	1,70	1,90	2,14	3,24	16,84
	Paillasse. Portion cartilagineuse des côtes asternales...	0,24	0,64	0,74	0,14	0,24	0,10	0,50	1,04	3,64
		18,48	26,44	25,52	16,16	19,76	28,10	19,52	25,28	179,26
4e Catégorie.	**Surlonge.** Partie supérieure des 2 premières côtes, 2e et 3e vertèbres dorsales......................	2,54	3,40	2,24	2,10	2,84	2,50	3,10	3,32	22,04
	Joues. Maxillaires inférieurs..................	2,54	3,80	2,40	1,60	1,70	3,20	2.20	2,90	20,34
	Joues. Crâne..............................	2,40	3,00	3,25	2,35	2,07	3,75	2,78	2,87	22,47
		7,48	10,20	7,89	6,05	6,61	9,45	8,08	9,09	64,85
	Total du poids des os dans les morceaux de l'étal..	54,38	78,54	76,63	51,09	54.83	94,36	60,44	78,89	549,16
Parties osseuses qui n'entrent pas dans le poids net d'étal.	**Canard.** Os de la face.........	4,00	5,50	4,00	3,50	3,29	4,00	3,50	3,90	31,69
	Les quatre pieds............	8,24	10,80	10,74	7,10	8,30	12,50	10,00	12,25	79,93
	Poids total du squelette......	66,62	94,84	91,37	61,69	66,42	110,86	73,94	95,05	660,78

muscles minces, étendus en lames, réunis en maigres faisceaux, ceux du cou, du ventre, des joues, des dernières sections des membres, sont de qualité inférieure.

Enfin, la présence des parties tendineuses et aponévrotiques multipliées est encore une cause d'infériorité dans la qualité des morceaux.

Il n'est donc pas indifférent que le bœuf débité donne à l'étal les proportions les plus fortes de viande des premières catégories, sans pour cela négliger le développement musculaire des catégories secondaires, où le consommateur trouve souvent, en raison de la conformation de l'animal, des morceaux qui rivalisent avec les catégories supérieures.

Je ne m'arrêterai pas à nommer et à définir chacun des morceaux qui entrent dans chaque catégorie; j'ai donné d'ailleurs, au tableau du débit du poids net d'étal, les noms employés couramment pour désigner chaque morceau dans la catégorie à laquelle il appartient. Les os qui font partie de certains morceaux sont indiqués à ce même tableau, d'où j'ai extrait les éléments propres à reconstituer le squelette. (tabl. K.)

En résumant, sans reproduire les noms des morceaux, les quantités absolues et les quantités relatives des diverses parties qui constituent la viande dans chaque catégorie, pour chaque bœuf, nous faciliterons la comparaison des individus et des races. C'est ce que tente de faire le tableau L.

Limites de chaque catégorie. — 1re *Catégorie.* — La première catégorie comprend toute l'arrière-main, ayant pour base osseuse la portion postérieure de la colonne vertébrale, formée des cinq vertèbres lombaires, du sacrum et des premières vertèbres coccygiennes. Tous les os du bassin en font partie, ainsi que le fémur et la rotule.

Les parties musculaires y forment trois divisions : la *croupe*, la *cuisse*, la *fesse*, l'*aloyau*. Elle se limite donc en avant par une ligne qui passerait entre la dernière vertèbre dorsale et la première lombaire, pour descendre à l'angle antérieur de l'ilium, ou angle de la hanche. En haut et en arrière, la ligne supérieure et postérieure du corps sert naturellement de limite, et arrivée à l'angle postérieur de l'ilium ou angle de la croupe, elle va rencontrer la ligne antérieure dans l'articulation fémoro-tibiale.

2e *Catégorie.* — Elle se compose de quatre parties qui se subdivisent en divers morceaux : — le *train de côtes* dont la base osseuse est formée des sept dernières côtes ; — le *paleron* ou *épaule*, qui comprend l'omoplate et son cartilage tout entier, l'articulation scapulo-humérale, l'humérus et l'olécrâne ; la *bavette d'aloyau*, prenant les cartilages des trois dernières côtes ; — et enfin les *plats de côtes découvertes*, ou partie moyenne du thorax, de la troisième à la septième côte.

Cette catégorie a donc pour limite, en arrière, un point sur la ligne de séparation entre la dernière dorsale et la première lombaire ; en avant, le point situé derrière la première dorsale qui passe dans l'encollière, ou collier, avec les sept vertèbres cervicales. De ces deux points pris sur la colonne vertébrale, la ligne limite va contourner les dernières côtes, enfermer la portion moyenne de la troisième à la septième côte, et descendre à l'articulation scapulo-humérale en passant autour du scapulum.

3e *Catégorie.* — Cette troisième catégorie est formée, en quelque sorte, d'appendices des deux premières. Elle comprend les parties antérieures et postérieures dont la base osseuse est constituée par les sept vertèbres cervicales et la première dorsale ; par le sternum, la partie inférieure des trois premières côtes, la partie moyenne des dernières, la portion cartilagineuse des côtes sternales et des côtes asternales ; et enfin, par l'avant-bras dont les os sont le radius-cubitus, moins l'olécrâne, que la coupe à l'étal a laissé dans le bras. — La jambe est de cette même catégorie ; elle a donc pour os long le tibia qui s'accompagne des os du tarse.

4e *Catégorie.* — Dans cette quatrième catégorie, la moins nombreuse en morceaux et la plus inférieure en qualité, se trouvent la partie supérieure des deux premières côtes, avec la deuxième et troisième dorsales, et les joues soutenues par les maxillaires inférieurs et le crâne.

D'après ces données et en se fondant sur les pesées de l'étal à la fois et sur le calcul qui donne les rapports entre le poids de chaque morceau et 100 du poids total, on peut représenter exactement le rendement absolu et relatif, dans chaque catégorie pour chacun de ces bœufs, et pour chaque partie constitutive des morceaux. Le tableau M fournit des renseignements com-

plets sur chacun de ces points; le tableau N les résume pour chaque catégorie seulement.

TABLEAU N. — *Poids relatifs des morceaux, dans chaque catégorie, par rapport à 100 du poids net d'étal, pour chaque bœuf.*

RACES.	1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.
Landais.....	31,54 0/0	30,12 0/0	33,71 0/0	4,63 0/0
Normand A..	32,79	29,64	33,22	4,35
Charolais....	33,10	29,69	32,84	4,37
Hereford....	30,41	30,43	34,75	4,41
Durham.....	30,64	30,68	33,94	4,74
Angus......	29,14	32,16	35,36	3,34
Salers.......	32,82	29,60	32,38	5,30
Normand B..	33,35	29,68	31,46	5,51
Moyenne par tête.	31,35	30,23	33,45	4,33

Il ressort, de la combinaison de ces nombres, que, pour 100 du poids total des morceaux, sur l'ensemble des huit bœufs, chacune des trois premières catégories représente, à de légères différences près, un tiers du poids des morceaux débités, c'est-à-dire 32 pour 100 environ du poids net d'étal. Il n'y a de grande différence que pour la quatrième catégorie, qui figure pour très-peu plus de 4 pour 100.

En distinguant nos trois groupes de bœufs indigènes, de bœufs britanniques et de bœufs du marché, les poids relatifs dans chaque catégorie, pour 100 du poids total des morceaux, nous fournissent les nombres suivants :

TABLEAU O.

GROUPES des RACES.	1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.
B. indigènes...	32,38 0/0	29,82 0/0	33,26 0/0	4,45 0/0
B. britanniques.	30,07	31,09	34,68	4,16
B. du marché..	33,09	29,64	31,87	5,40

Ce résumé par groupes de races et par catégories de morceaux, reproduit nécessairement les faits présentés avec un peu plus de détail dans le tableau précédent.

La troisième catégorie, excepté les 2 bœufs du marché, est celle qui donne le rapport le plus élevé de morceaux, et c'est dans le groupe des bœufs britanniques que se montre la proportion la plus forte.

C'est aussi pour ce groupe britannique que le rapport des morceaux à 100 du poids net d'étal est le plus élevé dans la seconde catégorie; les races indigènes viennent ensuite.

Les bœufs du marché, d'abord, donnent le rapport le plus élevé pour la 1re catégorie. Les bœufs indigènes prennent le second rang ; les races britanniques, le troisième.

Les trois groupes se classent suivant le même ordre pour la quatrième catégorie.

Ainsi, le groupe des deux bœufs de marché l'emporte sur les bœufs des deux groupes des races du concours, pour la proportion plus élevée de ses morceaux d'étal de première et de quatrième catégorie. Il reste inférieure aux deux autres groupes pour la seconde et la troisième catégorie.

Supérieur pour la première et la quatrième catégorie, le groupe indigène reste au-dessous du groupe britannique pour la seconde et la troisième catégorie.

Enfin, le groupe britannique, inférieur pour la première et la quatrième catégorie, prend le premier rang pour la seconde et la troisième.

Avant de tirer les conséquences de ces faits généraux, il importe de décomposer chaque catégorie de morceaux, en distinguant le rapport du poids de chair, d'os et de graisse-déchet. Nous pourrons ainsi, avec plus de certitude, nous faire une idée de l'organisation et de la valeur de chaque individu et de chaque groupe. Les détails sont réunis au tableau F ; les petits tableaux suivants l'analysent pour en résumer et en grouper les faits.

TABLEAU F. *Débit du poids net en morceaux rapportés aux différentes catégories par le dépeçage, le désossage et le dégraissage à l'étal.*

Bœufs primés au concours de boucherie à Poissy en 1862.

NOMS des MORCEAUX.		RACES FRANÇAISES. LANDAIS. 4 ans, 7 mois (55 mois). Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse.	Poids de la masse comestible.	NORMAND. 5 ans, 4 mois (64 mois). Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse.	Poids des parties comestibles.	CHAROLAIS. 7 à 8 ans (90 mois). Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse.	Poids des parties comestibles.
		k	k	k	»	k	k	k	k	k	k	k	k
1re catégorie.	Croupe.... Culotte.	30,00	8,30	5,84	20,86	39,50	5,20	8,80	25,50	46,40	4,90	11,34	30,16
	Cuisse.... Gîte à la noix.	20,86	0,06	»	20,80	23,40	0,54	»	32,86	36,26	0,40	»	35,88
	Cuisse.... Tranche grasse.	27,84	4,84	4,60	18,40	36,80	6,74	6,74	23,32	39,04	7,66	5,56	25,82
	Cuisse.... Tende de tranche.	29,70	1,34	2,54	25,82	48,30	2,16	14,70	31,44	49,30	1,90	13,20	34,20
	Aloyau.... Filet.	11,30	»	1,24	10,06	16,80	»	8,70	8,10	14,30	»	0,90	13,40
	Aloyau.... Faux-filet.	23,10	3,80	5,54	15,76	32,90	4,84	6,90	21,16	31,10	4,70	6,10	20,30
		144,80	18,34	19,76	111,70	207,70	19,48	45,84	124,38	216,42	19,56	37,10	159,76
2e catégorie.	Train de côtés.	42,36	6,70	7,64	28,02	59,40	10,54	8,80	40,06	65,90	10,50	12.94	42,46
	Paleron.... Talon de collier.	11,84	»	»	11.84	14,34	»	»	14,34	13,84	»	»	13,84
	Paleron.... Derrière de paleron.	13,10	1,34	1.60	10.16	17,16	1,90	1,96	13,30	17,90	1,70	2,46	13,84
	Paleron.... Jumeaux.	5,84	»	1,30	4.54	10,10	»	3,20	6,90	9,24	»	2,56	6,68
	Paleron.... Queue de gîte.	9,34	1,80	1 30	6.24	11,54	2,34	1,10	8,20	13,44	2,40	1,20	9,84
	Paleron.... Macreuse.	29,10	3,90	3,34	21.86	37,60	5,94	2,64	29,02	39,38	7,00	2,74	29,64
	Bavette d'aloyau.	23,14	0,34	11.94	10,86	34,40	0,80	15,10	15,50	27,24	0.66	11,04	15,54
	Plat de côtes découvertes.	3,54	1,00	0.80	1.74	6,20	1,00	0,76	4,44	7,24	1,40	»	5,84
		138,26	15,08	27,92	95,26	187,74	22,42	33,56	131,76	194,18	23,66	32,94	137,68
3e catégorie.	Collier.	39,04	3,66	1,44	33,94	41,70	4,60	3,56	33,54	44,94	4,44	2,04	38,46
	Gîtes.... de devant.	9,86	4,84	»	5,02	13,00	4,50	»	8,50	12,50	4,80	»	7,70
	Gîtes.... de derrière.	13,44	3,44	»	10,00	17,90	6,70	»	11,20	21,04	8,10	»	12,94
	Plat de côtes couvertes.	10,90	1 24	4 24	5,42	13,40	1,34	4,30	7,76	16,70	1,64	6,30	8,76
	Pis de bœuf. Gros-bout.	28,40	3,46	7,40	17,54	44,00	6,10	16,70	21,20	40,80	3,84	15,54	21,42
	Pis de bœuf. Tendron.	22,44	1,60	6,80	14,04	32,80	2,56	9,70	20,54	28,70	1,96	8,90	17,84
	Pis de bœuf. Paillasse.	22,04	0,24	7,80	14,20	36,00	0,64	11,70	22,66	36,00	0,74	11,90	23,36
	Dessus de côtes.	4,66	»	1,94	2,72	8,60	»	3,30	5,30	10,04	»	4,40	5,64
	Nerveux du gîte à la noix.	4,00	»	»	4,00	4,00	»	»	4,00	4,00	»	»	4,00
		154,78	18,48	29,82	106,98	210,40	26,44	49,26	134,70	214,72	25,52	49,08	140,12
4e catégorie.	Surlonge.	7,00	2,54	»	4,46	9,90	3,40	1,04	5,46	10,30	2,24	0,76	7,30
	Joues.	10,14	4,94	»	5,20	13,20	6,80	»	6,40	13,34	5,65	»	7,69
	Hampe.	2,64	»	0,24	2,40	3,00	»	»	3,00	3,68	»	0,28	3,40
	Queue.	1,47	»	»	1,47	1,45	»	»	1,45	1,27	»	»	1,27
		21,25	7,48	0,24	13,53	27,55	10,20	1,04	16,31	28,59	7,89	1,04	19,66
Poids net total d'étal.		459,60	54,38	77,34	327,47	633,39	78,54	129,70	428,45	653,91	76,63	120,16	457,22
[redacted] à 100 de poids net.		100,00	[illegible]	[illegible]	71,38	100,00	[illegible]	[illegible]	67,1[illegible]	100,00	11,70	[illegible]	[illegible]

RACES DE LA GRANDE-BRETAGNE.

NOMS des MORCEAUX.		HEREFORD. 3 ans, 3 mois (39 mois). Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse.	Poids des parties comestibles.	DURHAM. 3 ans, 4 mois, 25 jours (41 mois). Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse.	Poids des parties comestibles.	ANGUS. 4 ans, 9 mois (57 mois). Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse	Poids des parties comestibles.
		k	k	k	»	k	k	k	k	k	k	k	k
1re catégorie.	Croupe.... Culotte	33,84	8,36	12,54	17,44	36,76	4,50	15,90	16,36	47,00	3,60	3,40	40,00
	Cuisse.... Gîte à la noix	24,64	0,04	»	24,60	25,00	0,10	»	24,90	41,20	»	»	41,20
	Cuisse.... Tranche grasse	28,34	5,64	7,30	15,40	31,40	5,30	8,34	17,76	40,60	7,40	7,20	26,00
	Cuisse.... Tende de tranche	34,20	1,00	10,84	22,36	34,50	1,10	10,14	23,26	44,00	3,10	7,50	33,40
	Aloyau.... Filet	10,90	»	1,84	9,06	11,34	»	3,10	8,24	16,60	»	4,10	12,50
	Aloyau.... Faux-filet	26,54	3,30	7,94	15,30	27,46	3,20	10,00	14,26	39,00	7,40	15,60	16,00
		157,96	13,34	40,46	104,16	166,46	14,20	47,48	104,78	228,40	21,50	37,80	169,10
2e catégorie.	Train de côtes	49,50	7,20	13,90	28,40	51,50	5,90	11,94	33,66	74,40	22,40	20,90	31,10
	Paleron.... Talon de collier	11,70	»	»	11,70	12,30	»	3,20	9,10	16,00	»	»	16,00
	Paleron.... Derrière de paleron	12,40	1,06	2,94	8,40	13,46	1,00	3,40	9,06	24,64	2,10	6,20	16,34
	Paleron.... Jumeaux	9,04	»	4,60	4,44	12 14	»	6,40	5,74	24,90	»	6,20	18,70
	Paleron.... Queue de gîte	8,76	1,74	1,96	5,06	11,60	1,74	3,80	6,06	13,20	2,60	2,30	8,30
	Paleron.... Macreuse	31,64	4,14	6,40	21,10	31,60	4,44	6,86	20,30	44,00	5,80	8,50	29,70
	Bavette d'aloyau	30,00	0,60	15,50	13,90	28,8)	0,34	16,00	12,46	46,00	1,11	27,00	17,89
	Plat de côtes découvertes	5,04	0,80	0,76	3,48	5,34	0,84	»	4,50	9,00	1,30	»	7.70
		158,08	15,54	46,06	96,48	166,74	14,26	51,60	100,88	252,14	35,31	71,10	145,73
3e catégorie.	Collier	33,50	3,10	5,94	24,46	26,40	3,60	3,60	19,20	46,00	5,40	5,20	35,40
	Gîtes.... de devant	10,10	3,34	»	6,16	10 24	3,64	»	6,60	14,60	5,00	»	9,60
	Gîtes.... de derrière	13,90	4,80	»	9,10	15,44	5,84	2,04	7,56	19,50	8,00	»	11,50
	Plat de côtes couvertes	14,40	0,84	8,00	5,56	24,60	1,30	7,90	15,40	50,00	2,80	29,20	18,00
	Pis de bœuf.. Gros-bout	44,30	2,20	21,60	20,50	42,40	3,44	20,14	18,82	60,40	4,90	24,70	30,80
	Pis de bœuf.. Tendron	29,30	1,74	12,60	14,96	29,20	1,70	13,90	13,60	31,40	1,90	12,70	16,80
	Pis de bœuf.. Paillasse	24,20	0,14	15,72	3,34	24,80	0,24	10,90	13,66	40,50	0,10	26,00	14,40
	Dessus de côtes	6,80	»	2,16	4,64	7,34	»	5,56	1,78	10,80	»	5,50	5,30
	Nerveux du gîte à la noix	4,00	»	»	4,00	4,00	»	»	4,00	4,00	»	»	4,00
		180,50	16,16	62,02	98,32	184,42	19,76	64,04	100,62	277,20	28,10	103,30	145 80
4e catégorie.	Surlonge	10,26	2,10	2,10	6,06	11,84	2,84	0,74	8,26	8,20	2,50	»	5,70
	Joues	9,10	3,95	»	5,15	9,14	3,77	»	5,37	13,40	6,95	»	6,45
	Hampe	2,80	»	0,50	2,30	3,90	»	1,14	2,76	3,50	»	1,00	2,50
	Queue	0,77	»	»	0,77	0,85	»	»	0,85	1,10	»	»	1,10
		22,93	6,05	2.60	14,28	25,73	6,61	1,88	17,24	26.20	9,45	1,00	15,75
	Poids net total d'étal	519,47	51,09	155,14	313,24	543,35	54,83	165,00	323,52	783,94	94,36	213,20	476,38
	Rapports à 100 de poids net	100,00	9,83	29,86	60,31	100,00	10,09	30,37	59,54	100,00	12,03	27,20	60,77

TABLEAU F. (*Suite.*)

NOMS des MORCEAUX.		BŒUFS DE RACES FRANÇAISES approvisionnant ordinairement les marchés de Paris. SALERS. 5 ans (60 mois). Poids total des morceaux.				NORMAND. 6 ans (72 mois). Pois total des morceaux.			
		Poids total des morceaux.	Poids des os.	Poids de la graisse.	Poids des parties comestibles.	Pois total des morceaux.	Poids des os	Poids de la graisse.	Poids des parties
		k	k	k	k	k	k	k	k
1re catégorie.	Croupe. Culotte	26,14	3,80	3,14	19,20	29,84	4,64	2,00	23,
	Cuisse. Gîte à la noix	24,00	0,28	»	23,72	28,84	0,56	»	27,
	Cuisse. Tranche grasse	28,44	6,10	2,64	19,70	29,50	7,64	1,90	19,
	Cuisse. Tende de tranche	31,44	1,30	5,30	24,84	37,04	1,86	8,94	26,
	Aloyau. Filet	13,04	»	1,94	11,10	14,84	»	4,70	10,
	Aloyau. Faux-filet	18,86	4,26	1,54	13,06	20,50	3,44	1,70	13,
		141,92	15,74	15,66	111,62	160,16	20,14	18,24	120,
2e catégorie.	Train de côtes	39,36	7,70	5,06	26,60	48,20	11,54	5,76	30,
	Paleron. Talon de collier	10,04	»	0,10	9,94	11,70	»	»	11,
	Paleron. Derrière de paleron	10,70	1,24	0,54	8,92	10,66	1,60	»	9,
	Paleron. Jumeaux	6,54	»	1,90	4,64	6,06	»	1,20	4,
	Paleron. Queue de gîte	8,44	1,94	»	6,50	9,44	3,16	0.76	5,
	Paleron. Macreuse	30,06	4,80	2,90	22,36	32,04	6,66	2,00	23,
	Bavette d'aloyau	20,04	0,66	9,24	10,14	20,94	0,56	8,70	11,
	Plat de côtes découvertes	2,84	0,76	»	2,08	3,54	0,86	»	2,
		128,02	17,10	19,74	91,18	142,58	24,38	18,42	99,
3e catégorie.	Collier	28,10	3,80	0,84	23,46	33,00	5,36	1,70	25,
	Gîtes. de devant	10,14	4,04	»	6,10	11,80	5,10	»	6,
	Gîtes. de derrière	17,20	6,10	»	11,10	16,84	6,54	»	10
	Plat de côtes couvertes	6,20	0,84	1,90	3,46	8,70	1,14	1,90	5,
	Pis de bœuf. Gros-bout	27,24	2,10	7,20	17,94	24,90	2,86	6,16	15,
	Pis de bœuf. Tendron	21,24	2,14	5,24	13,86	22,30	3,24	5,52	13,
	Pis de bœuf. Paillasse	19,80	0,50	5,24	14,06	23,26	1,04	7,30	14,
	Dessus de côtes	5,64	»	1,90	3,74	6,34	»	2,50	3
	Nerveux du gîte à la noix	4,00	»	»	4,00	4,00	»	»	4
		139,56	19,52	22,32	97,72	151,14	25,28	25,08	100,
4e catég.	Surlonge	9,64	3,10	0,70	5,84	11,56	3,32	1,70	6,
	Joues	10,60	4,98	»	5,62	11,60	5,77	»	5,
	Hampe	1,40	»	»	1,40	2,10	»	»	2,
	Queue	1,27	»	»	1,27	1,20	»	»	1,
		22,91	8,08	0,70	14,13	26,46	9,09	1,70	15,
Poids net total d'étal		432,41	60,44	57,32	314.65	480,34	78,89	63,44	338,
Rapports à 100 de poids net.		100,00	13,97	13,26	72,77	100,00	16,42	13,21	70,

TABLEAU F. — *Longueur des intestins, grêles, gros, et du cœcum. Rapport de cette longueur totale à la longueur du corps.*

RACES.	Longueur des intestins grêles.	RACES.	Longueur des gros intestins.	RACES.	Longueur du cœcum.	RACES.	Longueur totale des intestins grêles, gros et du cœcum.
	m.		m.		m.		m.
Landais. . .	34,10	Salers. . . .	5,20	Hereford. .	0,60	Landais. . .	44,64
Hereford. .	39,10	Hereford. .	8,66	Normand A.	0,65	Salers. . . .	47,54
Salers. . . .	41,50	Durham. . .	9,20	Normand B.	0,70	Hereford. .	48,66
Durham. . .	42,50	Landais. . .	9,64	Durham. . .	0,80	Durham. . .	52,50
Normand A.	47,60	Angus. . . .	10,04	Salers. . . .	0,84	Normand A.	60,66
Angus. . . .	52,57	Charolais. .	10,45	Landais. . .	0,90	Angus. . . .	63,56
Normand B.	54,60	Normand B.	10,80	Angus. . . .	0,95	Normand B.	66,10
Charolais. .	61,08	Normand A.	12,41	Charolais. .	1,00	Charolais. .	72,53
Moy. par tête	46,67	Moy. par tête	9,55	Moy. par tête	0,81	Moy. par tête	57,02

RACES.	Longueur du corps de la nuque à la queue.	RACES.	Taille au garrot.	RACES.	RAPPORT de la longueur des corps représentés par 1 à la longueur totale du canal intestinal.
	m.		m.		
Hereford. .	2,10	Durham. . .	1,41	Salers.	:: 1 : 21,13
Durham. . .	2,10	Landais. . .	1,42	Landais.	:: 1 : 21,26
Landais. . .	2,15	Hereford. .	1,45	Hereford.	:: 1 : 23,65
Salers. . . .	2,25	Salers. . . .	1,50	Durham.	:: 1 : 25,00
Angus. . . .	2,33	Angus. . . .	1,55	Normand A.	:: 1 : 25,27
Normand A.	2,40	Normand A.	1,57	Angus.	:: 1 : 27,28
Normand B.	2,40	Normand B.	1,63	Normand B.	:: 1 : 27,54
Moy. par tête	2,25	Moy. par tête	1,51	Rapport moyen.	:: 1 : 24,49

Si l'on rapproche les résultats signalés dans ces derniers tableaux, où le rapport du poids des morceaux à 100 du poids net d'étal, et le rapport de la chair, des os, de la graisse-déchet sont donnés pour 100 des morceaux dans chaque catégorie, quelques faits importants se mettent immédiatement en relief.

D'après les petits tableaux P. Q. R. S., où se trouvent classés par catégorie et par groupe de races les poids relatifs de la chair, des os, de la graisse-déchet à 100 du poids net d'étal, on fait les remarques qui suivent :

TABLEAU P. — *Poids de chair pour 100 du poids des morceaux, par catégorie.*

RACES.	1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.
Charolais....	24,43 0/0	21,05 0/0	21,42 0/0	3,00 0/0
Landais.....	24,30	20,75	23,30	2,95
Normand A..	22,48	20,80	21,27	2,57
Angus......	21,58	18,58	18,60	2,01
Hereford....	20,05	18,57	18,93	2,75
Durham.....	19,27	18,56	18,51	3,18
Salers.......	25,81	21,08	22,61	3,29
Normand B..	25,35	20,77	20,98	3,26
Moyenne par tête.	22,79	20,02	20,70	2,87

TABLEAU Q. — *Poids des os pour 100 du poids des morceaux, par catégorie.*

RACES.	1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.
Normand A..	3,07 0/0	3,54 0/0	4,17 0/0	1,61 0/0
Charolais....	3,00	3,62	3,91	1,21
Landais.....	2,91	3,29	4,02	1,62
Angus......	2,74	4,51	3,58	1,20
Durham.....	2,61	2,62	3,64	1,22
Hereford....	2,56	2,99	3,11	1,16
Normand B..	4,20	5,08	5,26	1,89
Salers......	3,64	3,95	4,51	1,87
Moyenne par tête.	3,09	3,70	4,03	1,47

TABLEAU R. — *Poids de la graisse-déchet pour 100 du poids des morceaux, par catégorie.*

RACES.	1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.
Normand A..	7,24 0/0	5,30 0/0	7,78 0/0	0,17 0/0
Charolais....	5,67	5,02	7,51	0,16
Landais.....	4,33	6,08	6,39	0,05
Durham.....	8,74	9,50	11,79	0,34
Hereford....	7.80	8,87	12,71	0,50
Angus......	4,82	9,07	13,18	0,13
Normand B..	3,80	3,83	5,22	0,36
Salers......	3,37	4,56	5,16	0,16
Moyenne par tête.	5,72	6,53	8,72	0,23

TABLEAU S. — *Poids de chair, d'os et de graisse-déchet pour 100 du poids net d'étal, par catégorie et par groupes de races.*

RACES.				1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.
Bœufs du concours de boucherie.	Indigènes.	Charolais. Landais. Normand A.	Poids de chair pour 100 de poids net d'étal.	23,72	20,86	22,00	2,84
	Britanniques.	Angus. Hereford. Durham.		20,31	18,57	18,68	2,65
Bœufs achetés sur un des marchés d'approvisionnem.		Salers. Normand B.		25,58	20,92	21,80	3,27
Bœufs du concours de boucherie.	Indigènes.	Normand A. Charolais. Landais.	Poids d'os pour 100 de poids net d'étal.	2,99	3,48	4,03	1,48
	Britanniques.	Angus. Durham. Hereford.		2,64	3,37	3,44	0,19
Bœufs achetés sur un des marchés d'approvisionnem.		Salers. Normand B.		3,92	4,52	4,89	1,88
Bœufs du concours de boucherie.	Indigènes.	Normand A. Charolais. Landais.	Poids de graisse-déchet pour 100 de poids net d'étal.	5,45	5,47	7,23	0,13
	Britanniques.	Durham. Hereford. Angus.		7,12	9,15	12,56	0,32
Bœufs achetés sur un des marchés d'approvisionnem.		Salers. Normand B.		3,59	4,20	5,19	0,26

— C'est dans la *première catégorie*, que le rapport de la chair au poids des morceaux est invariablement le plus élevé, soit qu'on prenne la moyenne totale par tête, soit qu'on compare les trois groupes de races, soit qu'on examine chaque bœuf individuellement.

Vient ensuite, au second rang, la *troisième catégorie*, sans au-

cune exception, si ce n'est celle fort légère, égale à 0, 05, que présente le Durham.

La *seconde catégorie* se place en troisième lieu, sans d'autre exception que celle du Durham.

La *quatrième catégorie* est nécessairement la dernière.

— Le rapport du poids des *os* à 100 du poids des morceaux est, sans variation, le plus élevé dans la 3e *catégorie,* soit qu'on considère les moyennes par tête, soit qu'on rapproche les trois groupes, soit enfin qu'on considère chaque bœuf individuellement.

La *seconde catégorie* prend la seconde place : il en faut dire autant que relativement à la *troisième* catégorie : aucune exception.

La *première catégorie* vient en troisième ordre; sans exception aucune.

La *quatrième catégorie* est naturellement la dernière.

Le rapport le plus élevé des os pour 100 des morceaux se rencontre dans les quatre catégories chez les deux bœufs achetés au marché; un rapport moindre s'observe, dans les quatre catégories aussi, dans le groupe des bœufs indigènes; le rapport le plus faible descend, dans les quatre catégories encore, pour le groupe des bœufs britanniques.

— Enfin, le rapport le plus élevé du poids de la graisse-déchet se trouve, sans aucune modification, dans la *troisième catégorie.* Cela se produit pour chacun des bœufs, pour chacun des groupes, et pour la moyenne totale par tête.

En second lieu, le rapport le plus fort se présente dans la *seconde catégorie*, à l'exception du groupe indigène, dans les trois têtes qui le composent, et qui prend un rapport plus grand du poids de graisse-déchet dans la première catégorie que dans la seconde.

La *première catégorie* vient au troisième rang.

La *quatrième* a, comme toujours, la moindre importance.

En résumé, ce sont les deux bœufs du marché qui donnent la plus grande proportion de chair dans toutes les catégories, si ce n'est dans la troisième. Ils tiennent aussi le premier rang pour le rapport du poids des os, dans toutes les catégories de viande sans exception. Mais ils se placent au-dessous des deux autres groupes, si ce n'est dans la quatrième catégorie, pour le poids relatif de la graisse-déchet.

Les particularités que présentent ces deux bœufs rendent compte de leur conformation, de la condition modérée de leur engraissement, du développement de leur charpente osseuse, du dépôt plus considérable de graisse dans la région de la troisième catégorie, que dans celle de la seconde, et de la première.

La grande proportion de chair et d'os dans toutes les catégories, surtout dans la première pour la chair et dans la troisième pour les os, le faible rapport du poids de la graisse-déchet dans toutes les catégories, surtout dans la troisième, donnent l'idée de la forme d'une flèche dont la plus grande largeur se trouve en arrière, et la plus petite en avant. D'après leur nature et les régions qu'elles embrassent, les trois dernières catégories, la troisième et la seconde surtout, sont fort osseuses et le développement spécial que prend la quatrième catégorie en poids relatif de parties comestibles, sont autant de caractères qui dénotent dans l'organisation un peu de grossièreté. Déjà d'un âge avancé et n'ayant subi qu'une préparation très-légère pour l'engraissement, le poids de leur chair et de leurs os augmente au rendement net, parce que la faible proportion de graisse-déchet diminue le poids vif.

Pour des motifs analogues, le groupe des bœufs indigènes engraissés au point de vue du concours, se place au second rang pour la quantité totale de leur chair, de leurs os et de leur graisse-déchet.

Enfin, les mêmes raisons anatomiques et physiologiques expliquent pourquoi le groupe des races britanniques donne proportionnellement moins de chair, bien que les os soient plus petits; mais ces races, arrivées à un point extrême d'engraissement, portent, sur la balance, le poids relatif le plus grand de graisse-déchet dans toutes les catégories, voient le poids vif s'élever beaucoup, en même temps que diminue la proportion de chair et d'os.

Si ces conséquences étaient appliquées par la pratique d'une manière absolue, il s'ensuivrait que les bœufs qu'il faudrait préférer comme bêtes de boucherie devraient être âgés, d'un engraissement moyen, parce qu'ils acquerraient, dans toutes les catégories, les poids les plus considérables de viande, bien que leur ossature soit plus pesante, et qu'ils ne donneraient pas une proportion si grande de graisse-déchet. La réduction du poids

relatif de viande aurait lieu dès que l'âge des animaux d'engrais diminuerait, parce que la graisse augmenterait malgré le poids moins lourd des os.

Ces dernières conditions, aux yeux d'une logique trop rigoureuse, ne représenteraient pas le meilleur animal d'engraissement et de boucherie; il a moins de chair en même temps que moins d'os, mais il a trop de graisse-déchet inutile à la consommation alimentaire.

Il faut remarquer d'abord qu'il y a quelque chose de vrai dans ces conclusions : l'engraissement ne doit pas être poussé jusqu'à un embonpoint excessif, qui diminue proportionnellement le poids de viande, et rend plus délicat le travail du débit. Mais il serait facile de ne pas mener l'engraissement jusqu'au point qu'atteignent les animaux de concours ; le rendement relatif en parties comestibles s'élèverait d'autant plus que la graisse-déchet abonderait moins, et peut-être que les faits qui viennent d'être passés en revue, un peu modifiés dans leur manifestation, pourraient fournir un élément important pour résoudre une des plus grandes questions d'économie rurale : la valeur du travail comparée à celle de l'engraissement des animaux précoces.

Nous reviendrons tout à l'heure sur ce point. Nous devons maintenant compléter nos études sur le débit à l'étal, par un examen du squelette, particulièrement des os longs, et par la détermination des graisses constituées par le suif, par la masse adipeuse qui entoure les reins, et par la graisse-déchet.

OS ENTRANT DANS LA COMPOSITION DES MORCEAUX DE VIANDE. — SQUELETTE. — OS LONGS.

Nous avons vu, dans le grand tableau, le débit du poids net d'étal, en morceaux, rapporté aux différentes catégories, par le dépeçage, le désossage et le dégraissage. Le rendement absolu et relatif en chair, en os et en graisse dans chaque catégorie, dans chaque morceau, pour chaque bœuf, nous a occupés il y a un instant. Le tableau F donne spécialement le nom des morceaux de chaque catégorie, avec l'indication et le poids des os. Les chiffres sont évidemment les mêmes que ceux qui nous ont passé si souvent déjà sous les yeux; mais il n'est pas sans inté-

rêt de grouper les os de manière à donner une idée de leur répartition dans le squelette.

Les sept vertèbres cervicales et la première dorsale, qui ressemble beaucoup à la dernière cervicale, nommée la proéminente, font partie du *collier* ou *collet*, morceau de troisième catégorie.

Les deuxième et troisième vertèbres dorsales sont, avec la partie supérieure des deux premières côtes, la base osseuse de la *surlonge*, de la quatrième catégorie.

Le *train de côtes*, classé dans la seconde catégorie, comprend les onze dernières vertèbres dorsales et la partie supérieure des onze dernières côtes.

Le *faux-filet* ou aloyau, de première catégorie, renferme les six vertèbres lombaires, avec une faible partie d'ilium, et la partie antérieure du sacrum.

La partie postérieure de ce même sacrum est dans le morceau désigné sous le nom de *culotte* ou croupe, de la première catégorie.

C'est sous cette même désignation, dans le même morceau, que les premières des seize vertèbres coccygiennes se rencontrent, accompagnant la portion postérieure du sacrum, et prenant une fraction d'ilium.

Les coxaux sont divisés de plusieurs manières, dans la partie externe de la cuisse, désignée sous le *gîte à la noix*, de première catégorie, qui entraîne une faible portion d'ischium, ou la tête du fémur et le trochanter, ou un morceau de l'os, ou un condyle, ou la surface articulaire du tibia.

La face interne de la cuisse comprend, dans le morceau désigné sous le nom de *tranche-grasse,* ou *pièce ronde*, le *fémur*, la *rotule* qui forme un morceau à part et qu'on nomme la nourrice. Le *tendre* ou *tende de tranche* renferme l'articulation coxo-fémorale, avec le sommet du trochanter, et prend aussi un morceau de *quasi* ou *symphyse pubienne*, sur la ligne où les deux coxaux se réunissent.

Si du bassin nous passons à la région thoracique, nous voyons les côtes se partager de la manière suivante en plusieurs morceaux.

Les deux premières côtes, dans leur partie supérieure, se trouvent placées dans la *surlonge*, de quatrième catégorie. Les

onze dernières côtes, dans leur partie supérieure, font partie du *train de côtes*, de seconde catégorie.

La partie moyenne des côtes, de la troisième à la septième, forme la base osseuse du *plat de côtes découvertes*, nommées ainsi parce que, placées sous l'épaule, elles sont recouvertes par peu de viande. La partie moyenne des dernières côtes fait partie du *plat de côtes couvertes*, situées en arrière de l'épaule, et recouvertes d'une couche de chair plus épaisse. La première portion découverte est de seconde catégorie; la portion couverte est de troisième.

La portion antérieure du sternum et la portion inférieure des trois premières côtes se trouvent dans le *gros-bout*, de troisième catégorie.

Les parties cartilagineuses des côtes sternales et la portion postérieure du sternum entrent dans la composition du *tendron*, de troisième catégorie.

Les parties cartilagineuses des côtes asternales se trouvent dans le morceau dit *paillasse*, de troisième catégorie. Les cartilages des trois dernières côtes passent dans le *plat de côtes découvertes*, de seconde catégorie.

Dans le *derrière de paleron*, ou épaule, morceau de seconde catégorie, le scapulum, dans sa partie supérieure, entre avec tout son cartilage.

Sa portion inférieure avec l'articulation *scapulo-humérale*, et la partie supérieure de l'humérus, font partie du morceau nommé *macreuse*, de seconde catégorie. L'articulation *scapulo-humérale* et les portions qui l'entourent portent le nom de *boîte à la moelle*. La région de l'articulation *huméro-radiale* et du coude s'appelle la *charolaise*.

Comparaison des bœufs pour le poids, la longueur et la circonférence des os longs. — Après l'examen des os du tronc, de leur répartition entre les divers morceaux, il nous reste à dire quelques mots des os longs des membres, qui ne sont pas généralement compris en entier dans un même morceau, comme on l'a vu plus haut. Mais il importe, pour une comparaison plus complète de nos bœufs entre eux, de donner quelques détails sur cette partie du squelette, et de rétablir dans son ensemble chacun des os longs en en indiquant les principaux caractères. Aussi

ai-je rapproché les parties séparées par le travail de l'étal, et reconstitué chacun des os fragmentés.

La détermination du poids, de la longueur, de la circonférence des os longs fournira des données qui offrent de l'intérêt pour prendre une idée générale de conformation des animaux, pour établir les rapports de la base osseuse des membres avec l'ensemble du squelette, pour caractériser les races dans une de leurs régions organiques qui se prête le plus facilement à l'étude.

Poids des os longs. — En classant les races dont nous avons ici des représentants, d'après le poids de chaque os long, comme le fait le tableau J, on remarque que, pour chacun de ces os, l'ordre dans lequel se présentent nos huit bœufs reste le même d'une manière presque absolue.

Pour le *fémur* et pour l'*humérus*, les races se suivent, identiquement de la même manière, quant au poids. Il en est de même pour les *canons* antérieurs et postérieurs, comparés entre eux. Comparés avec les deux séries du *fémur* et de l'*humérus*, il n'y a qu'un seul changement de place entre deux animaux occupant cependant deux rangs voisins, l'Angus et le Normand A.

Pour le *tibia* et pour *le radius*, il en est à peu près comme pour les deux os longs de la cuisse et du bras, et pour le canon. Les quatre animaux qui commencent chaque série dans le classement de tous les os, sont l'Hereford, le Landais, le Durham, le Salers. Il n'y a pas de variation ; on ne remarque qu'une légère transposition dans le *tibia* et le *radius*, parmi les quatre bœufs formant le second groupe : le Charolais et le Normand A alternent seuls de place.

Ce classement indique assez clairement que, d'une part, les os longs restent en une harmonie déterminée et constante pour chaque race, et que, d'autre part, l'organisation comparée des huit bœufs conserve des rapports toujours identiques dans la série entière des races, de l'une à l'autre.

Tableau T. — *Classement des races d'après le* POIDS, *la* LONGUEUR *et la* CIRCONFÉRENCE *des os longs.*

RACES.	FÉMUR. P.	FÉMUR. L.	FÉMUR. C.
	k.	c.	c.
Hereford...	2,37	40	15
Landais....	2,42	38	16
Durham....	2,65	38	15
Salers.....	3,05	45	16
Normand A.	3,37	46	17
Angus.....	3,70	42	19
Charolais...	3,83	43	18
Normand B.	3,87	44	16,5
Moyenne par tête	3,16	42	16,5

RACES.	HUMÉRUS. P.	HUMÉRUS. L.	HUMÉRUS. C.
	k.	c.	c.
Hereford...	1,92	32	19
Landais....	1,95	30	18
Durham....	1,95	30	19
Salers.....	2,20	32	20
Normand A.	2,325	38	18
Angus.....	2,625	31,5	20,25
Charolais...	2,75	33	19
Normand B.	3 00	34	22
Moyenne par tête	2,34	32,5	19,4

RACES.	CANON ANTÉRIEUR. P.	CANON ANTÉRIEUR. L.	CANON ANTÉRIEUR. C.
	k.	c.	c.
Hereford...	0,52	20	14
Durham....	0,57	21	13
Landais....	0,62	20	13,5
Salers.....	0,61	23	14
Angus.....	0,625	23	14
Normand A.	0,65	24	14,5
Charolais...	0,65	22,5	15
Normand B.	0,70	24	14
Moyenne par tête	0,62	22,2	14

RACES.	POIDS DES PIEDS. Antérieur	POIDS DES PIEDS. Postérieur	POIDS DES PIEDS. TOTAL.
	k.	c.	c.
Hereford...	3,40	3,70	7,10
Landais....	4,14	4,10	8,24
Durham....	4,40	3,90	8,30
Salers.....	......	......	10,00
Charolais...	5,30	5,44	10,74
Normand A.	4,80	6,00	10,80
Normand B.	......	......	12,25
Angus.....	6,00	6,50	12,50
Moyenne par tête	4,67	4,94	9,99

RACES.	TIBIA. P.	TIBIA. L.	TIBIA. C.
	k.	c.	c.
Hereford...	1,52	39	14
Landais....	1,72	38	14,5
Durham....	1,67	37	14
Salers.....	1,95	44	16
Normand B.	2,38	44	16,5
Normand A.	2,39	40	19,5
Charolais...	2,45	43,5	16
Angus.....	2,59	50	16
Moyenne par tête	2,10	42	16

RACES.	RADIUS-CUBITUS. P.	RADIUS-CUBITUS. L.	RADIUS-CUBITUS. C.
	k.	c.	c.
Hereford...	1,35	34	17
Durham....	1,42	31	16
Landais....	1,525	38	16,5
Salers.....	1,53	35	17
Normand B.	1,68	35	18
Charolais...	2,05	38	18
Normand A.	2,25	35	16
Angus.....	2,50	40	20
Moyenne par tête	1,79	86	17

RACES.	CANON-POSTÉRIEUR. P.	CANON-POSTÉRIEUR. L.	CANON-POSTÉRIEUR. C.
	k.	c.	c.
Hereford...	0,55	25	12
Durham....	0,65	26	12
Landais....	0,66	24	14
Salers.....	0,70	27	14
Angus.....	0,75	27	14
Normand A.	0,77	27	13,5
Charolais...	0,80	26	15
Normand B.	0,85	27	14
Moyenne par tête	0,72	26	14

Les différences dans le poids du fémur entre chacune des huit races ne sont pas très-grandes : le poids absolu varie de 2^{k},37 (Hereford) à 3^{k},87 (Normand B).

Le poids moyen du fémur est de 2^{k},91 pour les trois races britanniques; de 3^{k},21 pour les trois bœufs indigènes du concours ; de 3^{k},46 chez les deux bœufs de nos approvisionnements ordinaires.

Des trois bœufs britanniques et de nos huit bœufs ensemble, le Hereford accuse les poids les plus faibles pour tous les os longs et pour le poids des pieds. Au second rang se place le Durham ; l'Angus prend le troisième avec les poids les plus élevés de son groupe, et même pour le tibia et le radius, et pour le poids des pieds.

Des trois bœufs indigènes, le Landais prend le premier rang pour les poids les moins forts dans tous les os longs et pour les pieds. Il vient même prendre place parmi les bœufs britanniques, et se rapproche de ces races au point de vue des os longs, comme nous l'avons vu aussi pour d'autres particularités d'organisation. Le Normand A et le Charolais occupent le second et le troisième rang.

Le Salers et le Normand B conservent toujours les mêmes positions relatives : le Normand B, sauf une exception, vient toujours après le Salers avec des poids plus élevés.

Il serait inutile de passer en revue chacun des os longs ; on serait conduit à répéter successivement ce qui vient d'être dit à propos du fémur. Le tableau T met ces résultats en complète évidence. Ce qui importe, c'est de faire saisir cette uniformité dans le classement qui atteste, on peut insister sur ce fait général, une concordance admirable dans l'organisation de nos trois groupes d'animaux.

En résumé, si nous ajoutons au poids des os, qui font la base des morceaux débités à l'étal, les poids des parties osseuses qui n'entrent pas dans les morceaux, c'est-à-dire les os de la face (désignés sous le nom de *canard*), et les quatre pieds, nous trouvons que nos huit races se classent de la manière suivante pour le poids total absolu du squelette, et pour le poids relatif pour 100 du poids vivant.

TABLEAU U.

RACES.	POIDS absolu.	RACES.	RAPPORT à 100 du p. vif.
Hereford	61k,69	Durham	7,81 0/0
Durham	66 ,42	Hereford	8,01
Landais	66 ,62	Landais	8,12
Salers	73 ,94	Charolais	8,38
Charolais	91 ,37	Angus	9,12
Normand A	94 ,84	Normand A	9,39
Normand B	95 ,04	Salers	10,72
Angus	110 ,86	Normand B	11,18

Cette série nous présente, pour l'ensemble des squelettes, le même ordre que nous avons reconnu pour les os longs. Le système osseux tout entier, ou l'une de ses parties, peut donc être indifféremment pris pour caractéristique des races. On est toujours ramené par la comparaison à cette harmonie des organes isolés ou considérés dans leur tout.

Il y a, néanmoins, une sorte d'anomalie quand on compare le poids du squelette pris entier et les poids des os longs chez l'Angus. Le Hereford et le Durham, les deux plus jeunes bœufs, comptant seulement 39 et 41 mois, ont, parmi les races britanniques représentées dans ces études, le squelette le plus léger, et le Hereford prend nettement le premier rang comme ayant à la fois le plus faible poids total du système osseux et des os longs des membres. L'Angus, au contraire, le plus âgé des trois bœufs britanniques, et ayant atteint 57 mois, a le squelette le plus lourd, en conformité avec la lourdeur plus accusée des os longs, bien qu'en revanche son poids relatif pour 100 de son énorme poids vif ne soit que de 9,12.

Ces différences tiennent-elles à la distance qui existe entre les âges? Cela peut être en partie vrai; et cependant le Salers, âgé de 60 mois, le Charolais, âgé de 90 mois, le Normand A, de 64 mois, et le Normand B, de 72 mois, ont tous des squelettes et quelques os longs, moins pesants qu'ils ne le sont chez l'Angus.

A part l'influence probable de l'âge, qui paraît ressortir de la comparaison de l'Angus avec les deux races plus précoces d'Hereford et de Durham, on constate quelques points, je dirais

presque de grossièreté acquise par l'animal, et rappelant peut-être, vu l'amélioration récente de la race, l'ancien type devenu, d'ailleurs, si rapidement un magnifique représentant du type nouveau des animaux producteurs exclusifs de viande.

Il faut aussi remarquer que le développement de l'animal est prodigieux.

L'Angus a la plus grande circonférence thoracique, la plus grande largeur aux hanches, par suite, le poids le plus élevé, arrivé à 1215 kilog.; la longueur de son corps, de la nuque à la queue, est des plus remarquables, sans dépasser une dimension qui lui donnerait l'apparence d'un animal pauvrement élevé. Mais sa taille est en même temps des plus hautes, et il manifeste, dans le poids de ses tibias, de ses radius et de ses pieds, des signes de lourdeur que ne présentent ni le Hereford, ni le Durham.

Un fait qui caractérise le plus la race Angus et notre bœuf Angus en particulier, c'est que, malgré son poids vif, le plus considérable de tous, l'ampleur presque parallélipipédique de son tronc, le poids de son squelette le plus élevé de tous, les poids si grands de ses os longs et surtout de ses pieds, le rapport du poids absolu de son squelette à 100 de son poids vif, n'est pas très-grand, et que si le poids relatif de son crâne et de ses maxillaires est élevé, le poids relatif des os de sa face (le canard) est le plus faible parmi les huit races comparées.

Cet ensemble grandiose qui, en définitive, fournit le rapport le plus considérable de chair pour un même poids de morceaux, soit 60,77 pour 100, porte en même temps des signes frappants de finesse, surtout dans l'extrémité si effilée de la face. Les faits bien établis justifient l'opinion sommaire qu'on prenait de ce splendide animal.

Le deux rapports les plus élevés du poids entier du squelette à 100 du poids vif sont ceux que présentent les deux bœufs de marché : ce rapport est de 10,72 pour le Salers et de 11,18 pour le Normand B. Nous retrouvons encore ici la confirmation des faits du même ordre que ceux que nous avons précédemment constatés sur quelques points de l'ossure de ces races, bien que le Salers soit, en définitive, plus fin généralement.

TABLEAU V. — *Classement d'après les poids des crânes, des maxillaires et des os de la face.*

POIDS DES CRANES.				POIDS DES MAXILLAIRES INFÉRIEURS.				POIDS DES OS DE LA FACE. (CANARD.)			
RACES.	POIDS des crânes.	RACES.	RAPPORT du poids du crâne à 100 de poids vif.	RACES.	POIDS des maxillaires.	RACES.	RAPPORT du poids des maxillaires à 100 de poids vif.	RACES.	POIDS des os de la face.	RACES.	RAPPORT du poids des os de la face à 100 de poids vif.
	k.		0/0		k.		0/0		k.		0/0
Durham. . .	2,07	Durham. . .	0,24	Hereford. . .	1,60	Durham. . .	0,20	Durham. . .	3,29	Angus.	0,33
Hereford. . .	2,35	Normand A.	0,30	Durham. . .	1,70	Hereford. . .	0,21	Hereford . .	3,50	Charolais. .	0,37
Landais. . .	2,40	Charolais. .	0,30	Salers.	2,20	Charolais. .	0,22	Salers.	3,50	Durham . . .	0,39
Salers.	2,78	Hereford. . .	0,31	Charolais . .	2,40	Angus.	0,26	Normand B.	3,90	Hereford. . .	0,46
Normand B.	2,87	Landais. . .	0,31	Landais. . .	2,54	Salers.	0,32	Landais. . .	4,00	Normand B.	0,46
Normand A.	3,00	Angus. . . .	0,31	Normand B.	2,90	Landais. . . .	0,33	Angus.	4,00	Salers.	0,51
Charolais. .	3,25	Normand B.	0,34	Angus.	3,20	Normand B.	0,34	Charolais. .	4,00	Landais. . .	0,53
Angus.	3,75	Salers.	0,40	Normand A.	3,80	Normand A.	0,38	Normand A.	5,50	Normand A.	0,54
Moyenne par tête.	2,81	Moyenne par tête.	0,31	Moyenne par tête.	2,54	Moyenne par tête.	0,28	Moyenne par tête.	3,96	Moyenne par tête.	0,45

Longueur et circonférence des os longs. — Les nombres qui donnent ces deux mesures varient peu pour chaque os, et les moyennes représentent, sans grand écart entre les deux termes extrêmes, les dimensions dont il s'agit.

Voici les poids et les dimensions de chaque os long en moyenne pour les huit bœufs.

TABLEAU X. — *Poids, longueur et circonférence moyens des os longs.*

	FÉMUR.	TIBIA.	HUMÉRUS.	RADIUS.	CANON Antérieur.	CANON Postérieur.
Poids.......	3k,16	2k,10	2k,34	1k,79	0k,62	0k,72
Longueur....	0m,42	0m,42	0m,325	0m,36	0m,222	0m,26
Circonférence.	0 ,165	0 ,16	0 ,194	0 ,17	0 ,14	0 ,14

Le fémur est le plus pesant des os longs, puis vient l'humérus, le tibia et le radius, le canon postérieur, et enfin le canon antérieur. Il résulte de ces différences que les os longs du membre antérieur sont moins pesants que ceux du membre postérieur. Voici la comparaison :

POIDS MOYENS DES OS LONGS DU MEMBRE ANTÉRIEUR.		POIDS MOYENS DES OS LONGS DU MEMBRE POSTÉRIEUR.	
Humérus...........	2k,34	Fémur.............	3k,16
Radius-cubitus......	1 ,79	Tibia..............	2 ,10
Canon.............	0 ,62	Canon.............	0 ,72
Total.....	4 ,75	Total.....	5 ,98

Les pieds antérieurs sont aussi moins pesants que les pieds postérieurs : les premiers pèsent, en moyenne, 4k,67; les seconds, 4k,94.

Il est impossible de déterminer la densité des os par la combinaison des données relatives à la circonférence et à la longueur,

d'une part, et avec le poids, d'autre part. Les os longs ne sont pas assez réguliers de forme pour qu'on les puisse considérer comme des cylindres. Cependant, sans vouloir appliquer ici un calcul rigoureux, on constate, pour un même os, des rapports entre la circonférence et la longueur qui permettent de conclure à un plus ou moins grand volume. La connaissance du poids peut fournir, sur cette base, quelques renseignements sur la densité.

Par exemple, pour le Hereford et le Durham, la circonférence du fémur est la même et égale à 15 centimètres. La longueur du même os est de 38 centim. pour le Durham et de 40 centim. pour le Hereford. Le fémur du Durham est donc de 2 centim. plus court que ne l'est le fémur du Hereford. Or, comme la circonférence est la même, et comme le poids est plus élevé chez le Durham que chez le Hereford, on peut conclure à une densité plus grande du tissu osseux pour le premier de ces animaux, comparativement au second.

On trouverait le même résultat, si l'on mettait en parallèle les données relatives aux nombres qui donnent les poids, les longueurs et les circonférences du fémur, pour le Landais et le Durham. Cet os a la même longueur chez ces deux animaux (38 centim.) Pour le premier, la circonférence de l'os est de 16 centim.; elle est de 15 centim. chez le second. Comme le poids est plus élevé chez le Durham, et que la circonférence est plus petite avec une longueur égale, on peut encore conclure que le tissu de l'os est plus dense pour le Durham que pour le Landais.

Ces observations pourraient être appliquées pour les mêmes animaux aux autres os longs. Un coup d'œil sur le tableau K rend vite compte des rapprochements possibles. Les données comparables ne sont pas, d'ailleurs, assez précises pour que ces calculs fournissent des résultats nombreux.

Il est important de dire dans quelles portions des différents morceaux débités se trouvent les os longs. Il a déjà été question d'eux à propos des catégories de qualité dans les viandes.

L'*humérus* a sa partie inférieure comprise dans le morceau de deuxième catégorie appelé *queue de gîte;* sa partie inférieure, dans la *macreuse*, avec la partie inférieure du scapulum, c'est-à-dire de l'articulation scapulo-humérale.

Le radius-cubitus laisse, d'après la coupe adoptée par la boucherie, l'olécrâne tout entier dans le morceau dit la *queue de gîte*, avec la partie inférieure de l'humérus. Les deux os soudés, moins l'olécrâne, se trouvent dans le *gîte de devant*, de troisième catégorie. Le cubitus est plus fort que chez le cheval, bien que le radius garde l'importance; l'union des deux os est encore plus solide que chez le solipède. L'ossification finit toujours par envahir, chez le bœuf, une portion de ligament interosseux. Il s'est présenté plusieurs cas de cette particularité chez les bœufs les plus âgés, comme le Charolais et les Normands,

Le fémur est compris dans la tranche grasse, morceau de cuisse de la première catégorie. La rotule, annexée au tibia, mais placée en avant de la trochlée du fémur, accompagne cet os, en formant un morceau à part, qui porte le nom de *la nourrice*.

D'après Cuvier, le fémur est l'os le plus long du squelette chez l'homme; mais, pour les ruminants et les solipèdes, il est si court, dit-il, qu'il est comme caché dans l'abdomen par les chairs. Ce qui a fait, ajoute Cuvier, qu'on nomme vulgairement cuisse, dans ces animaux, la partie qui correspond réellement à la jambe.

Les observations faites sur nos huit bœufs ne paraissent pas d'accord avec l'opinion formulée par Cuvier, car le fémur est, au contraire, avec le tibia, l'os le plus long des os des membres; ils mesurent l'un et l'autre 42 centimètres en moyenne.

Tandis que le radius a une longueur de 32 centim., et l'humérus une de 32 centim. 5, le canon postérieur accuse 26 centim. de long, et le canon antérieur 22 centim. 2. La brièveté du fémur ne trouve donc pas ici une preuve à l'appui des observations de notre grand naturaliste.

Le *tibia*, avec les os du *jarret*, ou plus exactement du tarse, entre comme base osseuse dans le *gîte de derrière*, dans la troisième catégorie. Ce qu'on appelle la *crosse* est composé de la portion inférieure du tibia et de l'articulation du jarret, où le *calcaneum* fait saillie. J'ai déjà dit que la *rotule*, bien qu'annexée au tibia par trois ligaments funiculaires, forme un morceau à part placé en avant de la trochlée du fémur.

Le *péroné* est remplacé, chez le bœuf et autres ruminants, par un cordon fibreux qui s'étend de l'extrémité supérieure à l'extrémité inférieure du tibia, et qu'il n'est pas rare de voir s'ossifier

en tout ou en partie. Le seul vestige osseux qui représente le péroné est un petit os qui correspond à l'extrémité inférieure de l'os et résulte de ce que la tubérosité externe se détache tout à fait du tibia. Ces parties entrent dans le morceau de troisième catégorie nommé le *gîte de derrière*.

L'articulation *coxo-fémorale*, ou de la tranche, forme, avec le sommet du trochanter, la base osseuse de la *tende de tranche*.

Sans entrer dans des détails sur la marche de l'ossification des os longs, je terminerai la description de ces os en disant que l'ossification était tout aussi complète dans nos plus jeunes bœufs que dans les bœufs adultes. C'est encore une preuve en faveur de la précocité.

Graisse-déchet. — Graisse des reins. — Suif. — Plusieurs fois déjà nous nous sommes occupés de la graisse-déchet pour en déterminer le poids total dans les morceaux d'étal, le rapport à 100 de ces morceaux, la répartition dans chaque catégorie de viande; nous avons vu comment le poids relatif de la graisse-déchet augmente ou diminue pour chacun de nos trois groupes de races.

Mais cette étude resterait incomplète, si nous ne cherchions les causes de ces différences dans la quantité de la graisse-déchet. Dans l'engraissement, en effet, la matière grasse ne se sépare pas uniquement ni toujours par grandes couches autour du corps, ou ne pénètre pas nécessairement d'une manière exagérée entre les masses musculaires pour constituer la graisse-déchet. Suivant l'âge des animaux, l'état plus ou moins prolongé de l'engraissement, la condition acquise de l'embonpoint, les aptitudes de la race, la substance adipeuse s'accumule autour des viscères de la cavité abdominale, sous le nom de suif, enferme les reins dans des masses considérables, et enfin constitue dans le poids net la graisse que n'accepte pas le consommateur.

Il importe donc de se rendre compte de l'importance de ces trois sortes de dépôts pour chaque individu et chaque groupe de races. En rapprochant les uns des autres les chiffres qui mesurent cette importance relative, puis en les combinant ensemble, on pourra s'apercevoir, sans doute, des influences réciproques des amas adipeux l'un par rapport à l'autre, par rapport au poids net d'étal et par rapport au poids vif. Ces données sont groupées dans le tableau suivant.

TABLEAU Y. — *Poids du suif, de la graisse des reins, de la graisse-déchet, et rapport de ces poids à 100 de poids vif.*

RACES.	Poids du suif.	RACES.	Poids de la graisse des reins.	RACES.	Poids de la graisse-déchet.	RACES.	TOTAL des 3 dépôts de graisse.
	k.		k.		k.		k.
Salers. . . .	40	Landais. . .	14,00	Salers. . . .	57,32	Salers. . . .	117,32
Normand B.	67	Hereford .	15,60	Normand B.	63,44	Normand B.	147,44
Hereford. .	75	Normand B	17,00	Landais. . .	77,24	Landais. . .	189,24
Charolais. .	95	Charolais. .	19,50	Charolais. .	120,16	Charolais. .	234,66
Landais. . .	98	Salers. . . .	20,00	Normand A.	129,70	Hereford. .	245,74
Normand A.	123	Durham. . .	21,60	Hereford. .	155,14	Normand A.	274,40
Durham. . .	129,50	Normand A.	21,70	Durham. . .	165,00	Durham. . .	316,10
Angus. . . .	183	Angus. . . .	30,00	Angus. . . .	213,20	Angus. . . .	426,20
Moy. par tête	101,31	Moy. par tête	19,925	Moy. par tête	122,55	Moy. par tête	244

RACES.	Rapport du poids du suif à 100 de poids vif.	RACES.	Rapport du poids de la graisse des reins à 100 de poids vif.	RACES.	Rapport du poids de la graisse-déchet à 100 de poids vif.	RACES.	Rapport du poids total des 3 dépôts de graisse à 100 de poids vif.
	0/0		0/0		0/0		0/0
Salers. . . .	5,80	Charolais. .	1,78	Normand B.	7,48	Salers. . . .	17
Normand B.	7,88	Landais. . .	1,84	Salers. . . .	8,30	Normand B.	17
Charolais. .	8,72	Normand B.	2,00	Landais. . .	10,16	Charolais. .	22
Hereford. .	9,74	Hereford . .	2,03	Charolais. .	11,02	Landais. . .	25
Normand A.	12,18	Normand A.	2,15	Normand A.	12,84	Normand A.	27
Landais. . .	12,89	Angus. . . .	2,47	Angus. . . .	17,55	Hereford. .	32
Angus. . . .	15,06	Durham. . .	2,54	Durham. . .	19,41	Angus. . . .	35
Durham. . .	15,24	Salers. . . .	2,90	Hereford. .	20,15	Durham. . .	37
Moy. par tête	10,93	Moy. par tête	2,21	Moy. par tête	13,37	Moy. par tête	26,5

C'est dans le groupe des deux bœufs achetés sur le marché que e rapport du poids total des trois sortes de graisse est le moins levé : il est de 17 pour 100 du poids vivant pour l'un et pour autre. Dans les races indigènes du concours, le même rapport arie de 22 à 27, soit en moyenne 25.

Il est de 35 chez les races britanniques, moyenne comprise ntre 32 et 37.

Ces différences fort sensibles indiquent les degrés d'engraisse-ient où étaient parvenus les animaux comparés. Le Salers et le

Normand B étaient évidemment bien au-dessous des deux autres groupes sous ce rapport. Les races britanniques se plaçaient au premier rang par l'abondance de graisse qu'ils avaient accumulée. C'est dans le représentant de la race de Durham que se trouvait la plus grande proportion de matière grasse.

Mais la somme de la partie adipeuse du corps n'était pas constituée de la même manière pour chaque bœuf, ni pour chaque groupe.

Les deux bœufs de marché sont ceux dont le rapport du poids du suif à 100 du poids vif est le plus faible ; il est en moyenne de 6,84 par tête. Il en est de même pour le poids relatif de la graisse-déchet, comme nous l'avons vu déjà : ce poids est, en moyenne de 7,89. Mais, par une exception singulière, et assez difficile à expliquer, le Salers est celui de nos huit bœufs qui présente le poids relatif le plus élevé de la graisse des reins par rapport à son poids vif; le Normand B n'est pas tout à fait au dernier rang. Le rapport accusé par le Salers est de 2,90; celui qui est propre au Normand B est de 2. En moyenne, pour les *deux* têtes, 2,45.

Pour comparer les rapports des poids de suif, de graisse des reins, de graisse-déchet, et de la somme de ces trois graisses à 100 de poids vif, on peut rapprocher les résultats dans le groupement résumé qui suit.

TABLEAU Z. — *Classement des groupes de races pour les poids relatifs des graisses.*

GROUPES de RACES.	Rapport du poids du suif à 100 de poids vif.	GROUPES de RACES.	Rapport du poids de la graisse des reins à 100 de poids vif.	GROUPES de RACES.	Rapport du poids de la graisse-déchet à 100 de poids vif.	GROUPES de RACES.	Rapport de la somme de 3 graisses à 100 de poids vif.
Bœufs du marché .	0/0 6,84	Bœufs Indigènes. .	0/0 1,92	Bœufs du marché.	0/0 7,89	Bœufs du marché.	0/0 17
Indigènes. .	11,26	Britanniques	2,35	Indigènes. .	11,33	Indigènes. .	25
Britanniques	12,54	du marché. .	2,45	Britanniques	19,04	Britanniques	35

Les bœufs les plus gras étaient ceux des races britanniques,

sans exception aucune; venaient ensuite les bœufs indigènes, c'est-à-dire les deux groupes des bœufs du concours. Au dernier degré d'engraissement se plaçaient les deux bœufs du marché courant.

Le Durham est l'animal le plus gras de son groupe et de nos huit bœufs. L'Angus prend le second rang sous le même rapport. Le Hereford se place le troisième.

Mais le Hereford est en première ligne pour le poids relatif des trois dépôts adipeux; le Durham le suit de près; l'Angus est au troisième rang.

Le Hereford, le plus jeune des huit bœufs, était donc celui des bœufs britanniques et de tous les bœufs qui eût pris la couverture la plus épaisse de graisse à l'extérieur, et c'est dans cette graisse, non dans le dépôt du suif, ni dans l'amas graisseux des reins, que l'accumulation de la matière grasse s'est opérée. C'est là un trait caractéristique des jeunes animaux précoces.

Le Durham, le plus jeune des bœufs après le Hereford, tout en donnant un poids relatif de graisse-déchet très-voisin de celui du Hereford, donne les poids relatifs les plus élevés pour l'ensemble des trois graisses, pour le suif et pour la graisse des reins.

Pour la graisse en couverture, le Durham se comporte comme le fait un jeune bœuf, et spécialement le Hereford; mais il témoigne en même temps de sa maturité plus grande en prenant le plus fort poids relatif de suif et une des deux proportions les plus fortes de graisse des reins; il s'est engraissé comme une bête plus réellement adulte. C'est une preuve de précocité plus profonde et plus caractérisée chez lui.

L'Angus, plus âgé de près de plus d'un an et demi, s'approche à la fois du Hereford et du Durham pour l'ensemble du poids relatif des trois graisses, pour celui de la graisse-déchet. Il est plus voisin du Durham pour le poids du suif et de la graisse des reins. Il cumule donc le mode d'engraissement d'un animal précoce et d'un animal adulte, ayant pris beaucoup de graisse extérieure et intérieure.

Les trois bœufs de concours appartenant à nos races indigènes forment le second groupe pour le développement total des trois sortes de graisses et pour l'accumulation de la graisse-déchet. La moyenne du poids total des trois graisses s'élève à 25 pour 100

du poids vif, et celle du poids relatif de la graisse-déchet à 11,33. Dans l'un et l'autre cas, il y a peu de distance entre les deux poids extrêmes. L'âge moyen des trois bœufs est de 70 mois, parmi lesquels figure le Charolais, âgé de 90 mois, et le Landais, de 55 mois.

C'est au plus bas poids relatif de la graisse des reins, dans le rapport de 1,92 à 100 du poids vif, que ce même groupe de bœufs indigènes prend place. C'est au rapport le plus élevé en suif, égal à 11,26, qu'il se range.

L'engraissement de ce groupe est d'un caractère plus adulte et moins précoce que celui des bœufs britanniques, et c'est le Landais qui fournit relativement le plus de suif.

Il serait inutile de rappeler ce que nous avons dit des deux bœufs de marché, d'un engraissement peu prononcé, si ce n'est que le Salers présente le poids relatif le plus fort de graisse des reins sur les huit bœufs débités.

Viande débitée : chair et os. — Jusqu'ici nous avons analysé la structure de la machine animale destinée à la consommation alimentaire; nous avons réuni tous les éléments qui peuvent éclairer sur chaque point la comparaison des races de boucherie, dans les détails du dépeçage, du désossage, du dégraissage à l'étal. Il faut maintenant tirer la conclusion dernière qui nous permette de juger et de classer les races dont nous venons d'étudier les représentants, et d'apprécier la valeur définitive du rendement de ces races considérées comme machines à produire la viande. Notre but était d'arriver à établir ce rendement; nous voici au terme de nos observations.

La viande n'est pas vendue à l'étal telle qu'elle résulte de son débit en morceaux. Une quantité plus ou moins grande de graisse en excès est enlevée; et il ne reste qu'une proportion convenable de matière grasse avec la chair et les os. C'est dans cet état que la viande entre dans la consommation; c'est donc dans la combinaison, en proportions variables, des poids réunis de chair et d'os que consiste le rendement véritable en viande et que se traduit la machine animale.

Les poids de chair et d'os par rapport à 100 du poids des morceaux ont été indiqués déjà isolément aux tableaux P, Q, R, S; il faut ici en faire un seul poids qui représente la

viande produite par chacun de nos bœufs, dans chaque groupe et dans chaque catégorie.

TABLEAU ZZ. — *Poids réunis de chair et d'os constituant la viande, rapportés à 100 du poids total des morceaux.*

RACES.			1re CATÉGORIE.	2e CATÉGORIE.	3e CATÉGORIE.	4e CATÉGORIE.	Les quatre catégories réunies.
Bœufs du concours de boucherie.	Indigènes.	Charolais. . .	27,43	24,67	25,33	4,21	81,64
		Landais. . . .	27,21	24,04	27,32	4,58	83,15
		Normand A.	25,55	24,34	25,44	4,18	79,51
Moyenne par tête.			26,73	24,35	26,03	4,32	81,43
Bœufs du concours de boucherie.	Britanniques.	Angus.	24,32	23,09	22,18	3,21	72,80
		Hereford. . .	22,61	21,56	22,04	3,91	70,12
		Durham. . . .	21,90	21,18	22,15	4,40	69,63
Moyenne par tête.			22,94	21,94	22,12	3,84	70,85
Bœufs achetés sur un des marchés d'approvisionnement.		Normand B.	29,55	25,85	26,24	5,15	86,79
		Salers.	29,45	25,03	27,12	5,14	86,74
Moyenne par tête.			29,50	25,44	26,68	5,15	86,77

Il résulte de la comparaison de ces chiffres que le rapport moyen du poids de chair et d'os contenu dans la viande à 100 du poids total des morceaux, est le plus élevé dans le groupe des deux bœufs achetés sur le marché, que dans les deux autres groupes de races qui ont paru sur le champ du concours de boucherie. C'est le Normand B qui présente le poids relatif de viande le plus considérable; tout à côté de lui se place le Salers.

Au second rang se place le groupe de nos bœufs de concours appartenant à nos races indigènes. Le Landais est celui des trois qui donne le poids relatif le plus fort.

Le groupe des bœufs de concours, formé par les races britanniques, vient en troisième et dernier lieu. C'est l'Angus qui fournit

le plus grand poids relatif de viande; c'est le Hereford qui donne le plus faible, non-seulement parmi ses compatriotes, mais sur les sept autres bœufs débités à l'étal.

Ce qui est vrai pour les trois rapports moyens des poids réunis de chair et d'os relativement à 100 des morceaux, qui caractérisent les trois groupes, l'est aussi pour chacune des quatre catégories dans chaque groupe.

Nous pouvions nous être déjà convaincus, que la conclusion à laquelle nous arrivons, se manifestait pas à pas, pour se formuler enfin elle-même. Déjà nous avons trouvé les explications des faits qui se résument ici, principalement quand il s'est agi de déterminer les poids relatifs séparément pour la graisse-déchet, pour la chair et pour les os (p. 23-45). Il serait donc superflu de répéter ce qui a déjà été dit.

Mais il ne paraît pas sans intérêt de terminer ces recherches en disant combien il y a de chair et d'os, en moyenne, dans un kilogramme de viande fourni par chacun de nos bœufs.

TABLEAU XX.

AGE.	RACES.	POIDS RÉUNIS de la chair et des os.	CHAIR ET OS dans 1 kil. de viande.	
			CHAIR.	OS.
		k. gr.	k. gr.	k. gr.
39 mois.	Hereford	364,33	0,860	0,140
55 —	Landais	381,85	0,858	0,142
90 —	Charolais	533,85	0,857	0,143
41 —	Durham	378,35	0,855	0,145
64 —	Normand A	503,69	0,845	0,155
60 —	Salers	375,19	0,836	0,161
57 —	Angus	570,74	0,835	0,165
72 —	Normand B	416,90	0,811	0,189

Il se produit ici un fait qui peut paraître d'abord assez difficile à expliquer. Nous savons que le Hereford est celui de nos huit bœufs qui donne la proportion la plus faible de viande pour 100 des morceaux entiers; et nous nous sommes expliqué cette infériorité relative par l'élévation du poids de la graisse-déchet, qui était, chez le même animal, le plus élevé de tous.

Quand les morceaux entiers ont été débarrassés de cette quan-

tité considérable de graisse-déchet, et que la viande ne se présenta plus que constituée par la chair et les os, le Hereford, dont l'ossature est la plus réduite, reprit naturellement l'avantage sur les autres bœufs, et il en résulte que c'est cet animal qui, pour un même poids de viande, donne la plus forte proportion de chair et le plus faible poids d'os.

C'est par des raisons inverses résultant cependant de faits du même ordre, que les bœufs du marché qui, pour un poids donné des morceaux entiers, offraient les poids relatifs les plus petits de graisse-déchet, parurent donner la proportion la plus grande de viande, ramenée à ne plus contenir que la chair et les os. Mais alors, quand la graisse en excès fut enlevée aux morceaux entiers, pour tous les animaux, quand la comparaison ne porta plus que sur la viande seulement, ces bœufs durent perdre leur apparente supériorité, car le poids relatif de leurs os était le plus considérable parmi les huit bœufs.

Ainsi, il se fait un revirement complet : le Normand B, qui prenait le premier rang pour la chair, pour les os et pour la viande, avec une des deux plus faibles proportions de graisse-déchet, descend au dernier, quand la comparaison s'établit sur la viande telle qu'elle est livrée au consommateur. D'autre part, le Hereford qui occupait la dernière place pour la chair et les os, mais qui montrait une des deux couches de graisse-déchet les plus développées, prend la tête sur tous les bœufs, quand les morceaux entiers restent sans graisse excessive.

Il en résulte que les races précoces devraient être trop poussées à une production exubérante de graisse, et que cependant déjà, quand cette proportion si considérable de graisse est enlevée, la viande de ces races se présente au consommateur dans les meilleures conditions.

Il faut remarquer, d'ailleurs, que la graisse formant déchet ne reste pas sans valeur, qu'elle va au suif et est fondue avec lui.

Ce dernier point de vue nous conduit à examiner une des questions les plus graves de l'économie rurale, sur lesquelles les observations consignées dans ce mémoire peuvent jeter quelque lumière.

V

AVANTAGES COMPARÉS QUE PRÉSENTE LA PRODUCTION DE LA VIANDE PAR LES RACES PRÉCOCES OU PAR LES RACES DE TRAVAIL.

En supposant que la viande soit débarrassée ou dépourvue de toute graisse en excès, et qu'elle ne conserve plus que les parties vendables, la chair et les os, telles que les demandent les consommateurs, est-il plus avantageux pour l'éleveur de n'engraisser d'une manière commerciale que des bœufs âgés, dont la vie s'est écoulée dans le travail, ou de préparer des bœufs précoces, mûrs de bonne heure pour l'abattoir.

La question d'âge, mise en regard du rendement en viande, va fournir une réponse dont les éléments se trouvent parmi les détails qui viennent d'être étudiés.

Quatre bœufs, pris dans chacun des trois groupes que nous avons distingués à chaque pas dans ce travail, vont servir à la comparaison importante qu'il s'agit d'établir.

Nous opposerons les types les plus nettement caractérisés : le Hereford et le Durham, le Charolais et le Normand B.

Tous les faits de nature à fournir des renseignements à la discussion sont consignés au tableau suivant ;

TABLEAU VV. — *Comparaison de quatre bœufs d'âges et de races diverses pour la production de la viande*

	CHAROLAIS. Du concours.		NORMAND B. acheté sur le marché d'approvisionnement.		HEREFORD. Du concours.		DURHAM. Du concours.	
Age	90 mois (7 à 8 ans).		72 mois (6 ans).		39 mois (3 ans, 3 mois).		41 mois (3 a. 4 m. 25 j.).	
Poids vif	1090^k		850^k		770^k		850^k	
Poids net d'étal	$653^k,91$		$480^k,34$		$519^k,47$		$543^k,35$	
Rapport du poids net d'étal à 100 de poids vif	60^k61		$56^k,46$		$67^k,45$		63^k88	
	k	P. 100 de p. net.	k		k		k	
Le poids net des morceaux débités à l'étal se décompose en : graisse-déchet	120,16	18,38	63,44	13,21	155,14	29,86	165,00	30,37
os	76,63	11,70	78,89	16,42	51,09	9,83	54,83	10,09
chair	457,22	69,92	338,01	70,37	313,24	60,31	323,52	59,54
Les morceaux étant dégraissés, la chair et les os formant ensemble la viande telle que le boucher la vend, il reste à débiter	533,85	81,62	416,90	86,79	364,33	70,32	378,35	69,63
1 kil. de cette viande contient : os	$0^k,143^g$		$0^k,189^g$		$0^k,140$		$0^k,145^g$	
chair	0 ,857		0 ,811		0 ,860		0 ,855	
	$1^k,000^g$		$1^k,000^g$		$1^k,000^g$		$1^k,000^g$	

Si l'on admet que le prix moyen du kilogramme de cette viande soit de 1 fr. 25, la somme totale payée par le consommateur serait, pour chacun des quatre bœufs, de :

667 fr. 30 c. pour le Charolais qui livre 533 k. 85 de viande.
521 10 — Normand B — 416 90 —
455 40 — Hereford — 364 33 —
467 90 — Durham — 378 35 —

Comparons, d'après ces bases, nos bœufs, deux à deux, d'abord pour leur âge, afin de poser la question qu'il importe tant de résoudre.

Le plus jeune des bœufs est le Hereford : il compte 39 mois,

3 ans 3 mois; — le plus âgé est, après le Charolais, âgé de 72 mois ou 6 ans, c'est le Normand B. Il y a donc entre les deux animaux une différence de 33 mois, ou de deux ans et trois mois; trois mois seulement de plus, et le Normand aurait précisément le double de l'âge du Hereford. Cette légère différence ne saurait s'opposer à ce que nous considérions les choses ainsi.

Prenons le Hereford comme unité de production de viande, nous voyons d'abord que cette race précoce donne, à 39 mois, 364 kil., tandis que le Normand B en donne 417 kil., c'est-à-dire 53 kil. seulement en plus pour une différence de près de trois ans.

Or, il ne faut pas perdre de vue que la graisse-déchet a été enlevée dans l'un et l'autre bœuf, et que la quantité de cette graisse égale le tiers du poids total des morceaux, chez le Hereford, et le septième ou huitième du poids total des morceaux, chez le Normand.

Ce Normand, à 72 mois, c'est-à-dire à un âge sensiblement de moitié plus élevé que celui du Hereford, donne 416 kil. 90 de viande au prix de 521 fr. 10.

Pendant le même temps, on obtiendrait d'un engraissement de deux bœufs de la race Hereford, exactement 728 k. 66, mais on peut dire, pour compenser la légère différence d'âge, 725 kil. de viande au prix de 906 fr. 25 cent. L'avantage des deux bœufs Hereford comme producteurs de viande est donc de 308 kil. au prix de 385 francs.

Le travail fourni par le Normand est-il capable de compenser cette plus-value obtenue de deux Hereford, en quantité de produits et en valeur en argent?

Les faits répondront tout à l'heure quand nous aurons poursuivi nos calculs dans les mêmes conditions, pour le Hereford et le Durham, comparés l'un après l'autre au Charolais.

Le Charolais est âgé de 90 mois; il a donc 51 mois ou quatre ans et trois mois de plus que le Hereford, c'est-à-dire un âge beaucoup plus que double que celui de ce bœuf.

Il a donné à la consommation 533^{k},85 de viande au prix de 667 fr. 30 c.

Et cependant deux Hereford, suivant ce que nous venons de dire, auraient produit 728^{k},66 de viande au prix de 910 fr. 80 c., avec une différence de 195^{k} de viande au prix de 243 fr. 75 c.

Si l'on compare ce même bœuf Charolais et sa production en viande après une existence qui a duré 90 mois, avec la production de deux Durham âgés chacun de 41 mois, on voit que les deux derniers animaux fournissent, en un temps moindre que celui de la vie du Charolais, un poids de 759k de viande au prix de 946 fr. 25 c.

C'est-à-dire que les deux Durham, comme producteurs de viande, donneraient 223k au prix de 278 fr. 75 c., en plus du poids de viande qu'on obtient du bœuf Charolais.

On se demande encore, en présence de ces résultats, si le travail du Charolais peut compenser, par sa valeur, la somme de viande et d'argent qu'on retire, en temps égal, des deux Hereford ou des deux Durham.

Nous ne possédons pas malheureusement sur le travail des bœufs des renseignements aussi précis que ceux qui viennent de nous être fournis par les observations sur la production de la viande. Mais en réunissant plusieurs données, et spécialement celles qui résultent des expériences continuées pendant des années à Hohenheim[1], on trouve, qu'en moyenne, la journée de travail d'un bœuf coûterait, en été 86 cent., et 57 cent. en hiver. On pourrait admettre, comme cela résulte des mêmes expériences, que le bœuf travaille pendant 200 à 210 jours dans l'année, et en prenant, pour chaque jour, un prix moyen de 70 à 75 cent., on trouverait que le travail annuel d'un bœuf coûte de 140 à 150 fr. Nous ne parlons pas de la recette due au fumier; les animaux à l'engrais en donneraient au moins une quantité égale à celle des bœufs de travail.

Ainsi, alors que dans un même temps serait produit par les deux Hereford pour 385 fr. de plus en viande comparativement avec le Normand, il faudrait que, pour compenser cette différence en forces des deux Hereford, le travail du bœuf Normand, supposé être d'une durée de deux ans, donnât en recette une somme égale à celle de la plus-value donnée en viande pour les deux animaux précoces, soit, par an, 149 fr. 50.

Or, le travail du bœuf coûte annuellement 140 à 150 fr.[2]; il res-

1. *Cours d'économie rurale*, de M. Garitz, traduit par M. J. Ruffel; 1850, t. II, p. 138-148.

2. M. Lecouteux (*Principes de la culture améliorante*, 2e édit., p. 104 et suiv.) présente la dépense des bœufs de travail sous une autre forme : il n'admet pas

terait donc comme recette-travail 45 à 50 fr., soit 90 à 100 fr. en deux ans. C'est là ce qui viendrait en compensation avec la plus-value en viande produite par les deux Hereford. Il ne semble donc pas que, d'une manière générale, le travail d'un bœuf âgé équivaille en valeur au rendement plus considérable en viande et en argent produit par deux animaux d'un âge moitié moindre, consacrés exclusivement à la production de la viande.

Ce qui vient d'être dit, à propos des deux Hereford et du Normand, serait également vrai pour les deux Hereford ou les deux Durham comparés au bœuf Charolais. Il est inutile de poursuivre plus loin ces calculs qui mènent aux mêmes conséquences.

Une remarque qui ne manque pas d'importance, surtout pour les consommateurs qui ne passent pas par toutes les considérations précédentes pour acheter un kilogr. de viande, c'est la quantité fort différente de chair et d'os contenue dans ce kilogr., chez les bœufs des diverses races. Ainsi, pour chacun des quatre bœufs dont il vient d'être question, le kilogr. de viande contient :

Chez le Hereford,	860 gr. de chair et	140	gr. d'os ;
Chez le Charolais,	857 —	143	—
Chez le Durham,	855 —	145	—
Chez le Normand,	811 —	189	—

Les conséquences à tirer de l'observation des faits et de ces considérations, c'est que, d'abord, il y a de grands avantages à spécialiser les races dans leurs aptitudes ; que la précocité est une qualité certaine et incontestable, la meilleure condition pour produire une plus grande somme de viande en un temps plus court ; qu'on obtiendrait, d'ailleurs, des résultats meilleurs encore, si l'on ne poussait pas ces animaux précoces à un embonpoint trop rapide et excessif.

Quand je parle des races précoces comparées aux races de

de jour de repos, et compte 200 jours d'hiver et 165 jours d'été ; les frais annuels de nourriture s'élèvent à 360 fr. 30 c., soit environ 1 fr. par jour. Le prix de revient du travail des attelages de six bœufs, mis à une charrue de défrichement, s'élève à 13 fr. pour les six bœufs par hectare défriché à 25 c. ou 30 c. de profondeur. Les fumiers sont en déduction pour un prix de 55 fr. Les frais de nourriture et le prix de revient du travail des bœufs est donc plus élevé que ne le présentent les expériences d'Hohenheim.

travail, je suis bien loin de présenter la précocité comme devant être immédiatement appliquée partout, et les races britanniques comme devant être partout employées, soit en les multipliant, soit en les utilisant par des croisements. Il en est de l'exploitation des animaux supérieurs comme de l'application à la culture des procédés perfectionnés, la suppression des jachères et la pratique de l'alternat. Il y a des périodes diverses en zootechnie comme en agriculture; il faut savoir s'arrêter aux degrés successifs d'amélioration, jusqu'à ce qu'on arrive à la perfection qui consiste, pour le problème de la production de la viande, à obtenir, le plus tôt possible, le rendement le plus élevé.

VI

RÉSUMÉ DES CONCLUSIONS RELATIVES AUX FAITS QUI SE RATTACHENT AU DÉBIT DU POIDS NET D'ÉTAL.

— Dans le débit du poids net d'étal, les races britanniques donnent le plus faible rapport du poids de chair et d'os à 100 du poids total des morceaux; la plus grande proportion de graisse-déchet pour le même poids des morceaux.

— Chez nos races indigènes, il y a plus de chair, plus d'os, moins de graisse-déchet.

— Ces différences proviennent, en grande partie, de la proportion pour laquelle la graisse-déchet entre dans le poids total des morceaux. Elles dépendent pour beaucoup de l'âge, par conséquent de la précocité des races britanniques.

— Pour les deux bœufs achetés sur le marché, ils donnent le rapport le plus élevé, de tous les huit bœufs, en chair et en os, et le rapport relatif le plus faible en graisse-déchet. C'est cette diminution dans la proportion de graisse-déchet qui explique le poids plus fort de chair et d'os, de même que c'est une proportion fort élevée de graisse-déchet qui amoindrit le poids de chair et d'os dans les deux autres groupes, surtout dans le groupe des races britanniques.

L'engraissement des deux bœufs est moins avancé que celui des six bœufs de concours, et ils sont âgés de cinq à six ans.

— Tous les morceaux des diverses parties du corps n'ont pas une même valeur; ils ont été classés généralement en quatre catégories, dont les caractères et la qualité tiennent à la constitution intime de la viande, au mélange plus ou moins prononcé de la chair et de la graisse, à leur plus ou moins grande richesse en fibres, déterminant leur plus ou moins grande épaisseur, à leur rôle physiologique, à leur plus ou moins d'activité, amenant dans la masse une proportion plus ou moins considérable des liquides nourriciers, à leur fatigue plus ou moins prolongée dans l'exercice fonctionnel qui leur est propre.

La présence des parties tendineuses et aponévrotiques abaisse généralement la qualité des viandes.

— De la comparaison des poids relatifs des morceaux dans chaque catégorie, par rapport à 100 du poids net d'étal, il ressort ces faits, que :

A de légères différences près, un tiers des morceaux débités, c'est-à-dire 32 pour 100 du poids total des morceaux, représente chacune des trois premières catégories; la quatrième figure pour très-peu plus de 4 pour 100.

A l'exception des deux bœufs du marché, la troisième catégorie donne les poids relatifs les plus élevés pour 100 des morceaux.

C'est le groupe britannique qui fournit la proportion la plus forte dans les morceaux de troisième et de deuxième catégorie. Cette supériorité est en harmonie avec le développement caractéristique de toute la région thoracique dans les races précoces.

Les deux bœufs du marché accusent le poids relatif le plus fort de morceaux dans la première catégorie. Cette particularité traduit une différence entre le volume de la moitié postérieure et celui de la moitié antérieure du corps; les animaux étant alors larges en arrière, resserrés du devant.

— C'est dans la première catégorie que le rapport du poids de *chair* au poids des morceaux est invariablement le plus élevé, soit qu'on prenne la moyenne totale par tête, soit qu'on compare les trois groupes de races, soit qu'on examine chaque bœuf individuellement.

— Au second rang vient la troisième catégorie, sans aucune exception.

— La seconde catégorie se place en troisième lieu.

BŒUFS PRIMÉS AU CONCOURS DE POISSY EN 1862.

RACES FRANÇAISES.

RACES.		LANDAIS. Poids total des morceaux.	LANDAIS. Poids des os.	LANDAIS. Poids de la graisse.	LANDAIS. Poids de la chair.	NORMAND A. Poids total des morceaux.	NORMAND A. Poids des os.	NORMAND A. Poids de la graisse.	NORMAND A. Poids de la chair.	CHAROLAIS. Poids total des morceaux.	CHAROLAIS. Poids des os.	CHAROLAIS. Poids de la graisse.	CHAROLAIS. Poids de la chair.
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
Poids absolus.	1re catégorie.	144,80	13,34	19,76	111,70	207,70	19,48	45,84	142,38	216,42	19,56	37,10	159,76
	2e catégorie.	138,26	15,08	27,92	95,26	187,74	22,42	33,56	131,76	194,18	33,66	32,94	137,68
	3e catégorie.	154,78	18,48	29,32	106,98	210,40	26,44	49,26	134,70	214,72	25,52	49,08	140,12
	4e catégorie.	21,25	7,48	0,24	13,53	27,55	10,20	1,04	16,31	28,59	7,89	1,04	19,66
		459,09	54,38	77,24	327,47	633,39	78,54	129,70	425,15	653,91	76,63	120,16	407,22
Poids pour 100 du poids net d'étal.	1re catégorie.	31,54	2,91	4,33	24,30	32,79	3,07	7,24	22,48	33,10	3,00	5,67	24,43
	2e catégorie.	30,12	3,29	6,08	20,75	29,64	3,54	5.30	20,80	29,69	3,62	5,02	21,05
	3e catégorie.	33,71	4,02	6,39	23,30	33,22	4,17	7,78	21,27	32,84	3,91	7,51	21,42
	4e catégorie.	4,63	1,63	0,05	2,95	4,35	1,61	0,17	2,57	4,37	1,21	0,16	3,00
		100,00	11,85	16,84	71,30	100,00	12.39	20,47	67,12	100,00	11,74	18,36	69,90

BŒUFS DES RACES FRANÇAISES qui approvisionnent ordinairement les marchés de Paris.

RACES.		SANERS. Poids total des morceaux.	SANERS. Poids des os.	SANERS. Poids de la graisse.	SANERS. Poids de la chair.	NORMAND B. Poids total des morceaux.	NORMAND B. Poids des os.	NORMAND B. Poids de la graisse.	NORMAND B. Poids de la chair.
		k	k	k	k	k	k	k	k
Poids absolus.	1re catégorie.	141,92	15,74	14,56	111,62	160,16	20,14	18,24	121,78
	2e catégorie.	128,02	17,10	19,74	91,18	142,58	24,38	18,42	99,78
	3e catégorie.	139,56	19,52	22,32	97,72	151,14	25,28	25,08	100.78
	4e catégorie.	22,91	8,08	0,70	14,13	26,46	9,09	1,70	15,67
		432,41	60,44	57,32	314,65	480,84	78,89	63,44	338,01
Poids pour 100 du poids net d'étal.	1re catégorie.	32,82	3,64	3,37	25,81	33,35	4,20	3,80	25,35
	2e catégorie.	29,60	3,95	4,56	21,08	29,68	5,08	3,83	20,77
	3e catégorie.	32,28	4,51	5,16	22,61	31,46	5,26	5,22	20,98
	4e catégorie.	5,30	1,87	0,16	3,27	5,51	1,89	0,36	3,26
		100,00	13,97	13.25	72,77	100,00	16,43	13,21	70,36

RACES BRITANNIQUES.

RACES.		HEREFORD. Poids total des morceaux.	HEREFORD. Poids des os.	HEREFORD. Poids de la graisse.	HEREFORD. Poids de la chair.	DURHAM. Poids total des morceaux.	DURHAM. Poids des os.	DURHAM. Poids de la graisse.	DURHAM. Poids de la chair.	ANGUS. Poids total des morceaux.	ANGUS. Poids des os.	ANGUS. Poids de la graisse.	ANGUS. Poids de la chair.
		k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k	k
Poids absolus.	1re catégorie.	157,96	13,34	40,46	104,10	166,46	14,20	47,48	104,78	228,40	21,50	37,80	169,10
	2e catégorie.	158,08	15,54	46,06	96,48	166,74	14,26	51,60	100,88	252,14	35,31	71,10	145,73
	3e catégorie.	180,50	16,16	66,02	98,32	184,42	19,76	64,04	100,62	277,20	28,10	103,30	145,80
	4e catégorie.	22,93	6,05	2,60	14,28	25,73	6,61	1,88	77,24	26,20	9,45	1,00	15,75
		519,47	51,09	155,14	313,24	543,35	54,83	165,00	323,52	783,94	94,36	213,20	476,38
Poids pour 100 du poids net d'étal.	1re catégorie.	30,41	2,56	7,80	20,05	30,64	2,61	8,74	19,29	29,14	2,74	4,82	21,58
	2e catégorie.	30,43	2,99	8,87	18,57	30,68	2,62	9,50	18,56	32,16	4,51	9,07	18,58
	3e catégorie.	34,75	3,11	12,71	18,93	33.94	3.64	11,79	18,51	25.36	3,58	13,18	18,60
	4e catégorie.	4,41	1,16	0,50	2,75	4,74	1,22	0,34	3,18	3,34	1.20	0,13	2,01
		100,00	9,82	29,88	60.30	100,00	10,09	30.37	59.54	100.00	12.03	27.20	60,77

— La quatrième est nécessairement la dernière.

— Le rapport le plus élevé du poids des *os* et de la *graisse-déchet* à 100 du poids total des morceaux, se trouve, sans variation, dans la troisième catégorie, quel que soit l'ordre qu'on suive dans la comparaison des résultats.

— Au second rang la seconde catégorie prend place, à l'exception du groupe indigène pour la graisse-déchet.

— La première catégorie vient en troisième ordre.

— La quatrième est la dernière.

— Ce sont les deux bœufs du marché qui présentent la plus grande partie d'*os* dans toutes les catégories, et la plus grande portion de *chair*, si ce n'est dans la troisième.

Ils donnent, par compensation, le plus faible rapport de graisse-déchet, si ce n'est dans la quatrième catégorie.

Ce sont encore là des particularités dont la conformation de ces deux bœufs, la condition modérée de leur engraissement, le développement de leur charpente osseuse, rendent compte.

— Pour des motifs analogues, le groupe des races indigènes prend le second rang, pour le poids relatif total de leur chair, de de leurs os et de leur graisse-déchet.

Enfin, le groupe des races britanniques vient en dernier lieu, fournissant proportionnellement, pour 100 du poids total des morceaux, moins de chair, bien que les os soient petits, et beaucoup plus de graisse-déchet.

Les mêmes raisons anatomiques et physiologiques expliquent ces résultats divers.

— Pour le poids de chaque os long, l'ordre dans lequel se présentent les huit bœufs, reste le même d'une manière presque absolue.

Les races se suivent identiquement de la même manière pour le fémur et l'humérus, pour le tibia et le radius, pour les canons antérieurs et postérieurs.

— Les os longs restent donc en une harmonie déterminée et constante pour chaque race, et, d'autre part, il y a une uniformité dans le classement qui atteste une concordance complète dans l'organisation des trois groupes d'animaux.

— Le système osseux, pris dans son ensemble, présente le même ordre que pour les os longs.

Le système osseux tout entier, ou l'une de ses parties, peut

donc être indifféremment pris pour caractéristique des races. Il y a là encore harmonie des organes isolés ou considérés dans leur tout.

— Tous ces faits démontrent qu'il existe des types constants fondamentalement établis sur un même plan d'organisation, et qui ne subissent d'autres modifications que celles qui résultent du développement de certaines parties du corps, en raison d'influences physiologiques diverses.

— Les deux rapports les plus élevés du poids entier du squelette à 100 de poids vif, sont ceux que présentent les bœufs du marché; les deux plus faibles sont ceux du Durham et du Hereford, à côté duquel se place le Landais.

— Les deux dimensions *longueur* et *circonférence*, varient peu pour chaque os.

— Les poids moyens des os longs des membres et des pieds sont plus forts dans le membre antérieur que dans le membre postérieur.

— L'ossification des os longs était tout aussi complète chez les bœufs des races précoces que chez les bœufs des races tardives.

— C'est dans le groupe des races britanniques que se trouvent les animaux les plus gras, pour les trois sortes de graisse, suif, graisse des reins, et graisse-déchet. Viennent ensuite les bœufs indigènes, c'est-à-dire les deux groupes du concours. Au dernier degré se placent les deux bœufs du marché courant.

— C'est dans les deux bœufs du marché que le rapport moyen du poids de chair et d'os, constituant la viande, à 100 du poids total des morceaux, est le plus élevé.

Le groupe de nos bœufs indigènes du concours se place au second rang.

Le groupe des bœufs britanniques vient en troisième lieu.

— Dans un kilogramme de viande, c'est chez l'Hereford que le poids de chair est le plus grand, et que le poids des os est le plus petit. C'est chez le Normand B que le poids de la chair est, dans un kilogramme de viande, le moins faible, et le poids des os le plus faible.

— C'est dans cette dernière conclusion que se résume la valeur comparée des races dont nous avons comparé les représentants comme producteurs de viande.

— Il semble y avoir plus d'avantage à produire de la viande par les races précoces que par les races de travail avec des sujets plus âgés.

— Le travail ne paraît pas compenser, chez le bœuf d'âge, la plus-value en viande et en argent qu'on peut obtenir par l'engraissement de deux bœufs jeunes, ayant l'un et l'autre la moitié d'âge d'un animal de travail.

— La suppression du travail des bœufs et la production exclusive de viande par les bœufs précoces, ne doit pas être conseillée partout; il y a des degrés de perfectionnement successif.

ÉTUDES

SUR LA PYROMÉTRIE

Mesure des hautes températures.

PAR M. EDMOND BECQUEREL.

---

§ I. — PYROMÈTRES FONDÉS SUR LA DILATATION.

On connaît les difficultés que présente l'évaluation des hautes températures et toutes les recherches qui ont été faites par les plus habiles expérimentateurs depuis plus d'un siècle pour résoudre cette question. Un grand nombre de procédés ont été proposés; en général les changements de volume des corps, et dans presque tous les cas les dilatations des solides ou des gaz ont servi de base aux évaluations expérimentales.

Il serait préférable de prendre pour mesure des températures les quantités de chaleur nécessaires pour produire dans un corps un effet calorifique déterminé; mais les comparaisons seraient alors difficiles à faire dans la plupart des cas. On est donc convenu de rapporter les températures à celle qui est nécessaire pour produire une augmentation de volume d'une masse d'air, prise d'abord à la température de la glace fondante et telle que 100° de température soient donnés par l'intervalle de la glace fondante à l'ébullition d'eau sous la pression de 760 mill. D'après cela, si un volume d'air est V_0 à zéro, à une température T il sera $V(1+\alpha T)$, α étant la dilatation de l'air en passant de 0° à 1°, c'est-à-dire son coefficient de dilatation. Et si l'on trouve qu'un volume V à 0° est devenu V′ à une température inconnue T, cette température sera telle que $V(1+\alpha T)=V'$ d'où $T=\frac{V'-V}{\alpha}$.

Depuis Musschenbroeck, qui paraît avoir construit le premier pyromètre métallique, bien des appareils analogues fondés sur

la dilatation des métaux ont été employés; mais on sait que cette dilatation n'est pas uniforme et qu'en général les augmentations de volume étant proportionnellement plus grandes à mesure que la température s'élève, si les appareils sont gradués d'après la supposition d'une dilatation égale pour des degrés égaux dans la température mesurée au moyen de l'accroissement du volume de l'air, les nombres obtenus sont nécessairement trop forts, et cela d'autant plus que la température est plus haute.

En 1780 [1] M. Achard proposa un pyromètre construit à la manière d'un thermomètre à mercure ordinaire; le réservoir et le tube étaient en porcelaine transparente, et le corps dilatable était en alliage fusible. Mais je ne pense pas que cet appareil ait été jusqu'ici d'aucun usage.

En 1782 Wedgwood [2] construisit le pyromètre qui porte son nom et qui est fondé sur la contraction permanente de l'argile lors de l'action de la chaleur. Cet appareil a eu une certaine célébrité, en raison du nom de son auteur et de l'application qu'il voulait en faire à la détermination des températures nécessaires aux opérations de l'art céramique. D'après Wedgwood, le zéro de l'échelle correspondait à 580° centigrades, et chaque degré à 72°,2.

La plupart des physiciens qui eurent à leur disposition des appareils semblables à celui de Wedgwood virent que les bases sur lesquelles cet appareil avait été construit devaient être changées. Un travail complet fut fait à cette occasion par Guyton-Morveau[3]: ce savant conclut de ses recherches que le terme de fusion de l'argent devait être à 22° du pyromètre et non à 28°, comme l'avait supposé Wedgwood, et que chaque degré du pyromètre correspondait à 34°,72 centigrades au lieu de correspondre à 72°,2; c'était environ moitié moins qu'on ne l'avait admis jusque-là. Ensuite il compara quelques températures données par ce pyromètre à celles que l'on obtient: 1° d'après la dilatation du

1. Pelouze, *Traité complet des Pyromètres;* Paris, 1829. (Traduction d'un ouvrage anglais, publié à Londres en 1828 par une société d'ingénieurs.)

2. *Philosophical Transactions*, vol. LXXII, LXXIV et LXXVI.

3. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XLVI, p. 276, 1803; et t. LXXIII, LXXIV, XC. — *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, t. XI, 2e partie, 1808; et 1811, 2e partie.

platine supposée uniforme; 2° au moyen de la chaleur spécifique du platine prise à l'aide de celle de l'eau ou de la glace fondante; 3° au moyen de la dilatation de l'air. Voici quelques nombres que l'on déduit des tables qu'il a données [1] :

SUBSTANCES.	PYROMÈTRE de Wedgwood corrigé d'après Guyton-Morveau.	THERMOMÈTRE centigrade.	TEMPÉRATURE PAR		
			le calorimètre de glace.	le calorimètre à eau.	la dilatation de l'air.
	0	270			
Plomb fondant......	»	322			325
Mercure bouillant...	2	339,4			
Zinc fondant.......	3	374,0			500
Argent fondant.....	22	1033,7			
Cuivre fondant.....	27	1207,3		1257	
Or fondant.........	32	1380,9			
Fonte de fer coulant.	130	4783,0			
Fer doux fondant...	175	6346	2198	2150	
Nickel et platine, id.	Au delà de 175	»			

On voit que, passé le 22e degré, qui correspond à la fusion de l'argent, les déterminations faites avec le pyromètre en argile donnent des nombres qui s'élèvent très-rapidement, même comparativement à ceux qui sont obtenus au moyen des chaleurs spécifiques. On doit conclure de là que la contraction de l'argile, qui jusqu'à la fusion de l'argent est assez uniforme, et qui au delà s'accélère beaucoup, est due à une action chimique qui ne peut être prise comme moyen de mesure du phénomène physique que l'on étudie. Du reste, même dans le cas où l'on eût voulu prendre les nombres donnés par la contraction de l'argile comme des valeurs arbitraires indiquant une température plus ou moins élevée, la difficulté d'avoir des résultats comparables en se servant d'une argile qui peut ne pas renfermer toujours les mêmes éléments et n'avoir pas été préparée de la même manière, eût fait abandonner complétement le pyromètre de Wedgwood.

On a également abandonné les pyromètres proposés depuis et

1. *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, 1811, 2e partie, p. 115.

qui étaient fondés sur les dilatations du platine, de l'argent ou d'une masse métallique quelconque, ces dilatations comparées à celles de l'air allant en croissant avec la température [1].

En 1827, M. J. Prinsep [2], essayeur à la monnaie de Bénarès, publia un mémoire sur les évaluations des hautes températures, dans lequel il se servait d'un thermomètre à air formé au moyen d'un réservoir en or communiquant par un tube à un récipient contenant de l'huile d'olive; il pouvait, d'après le volume et la pression du gaz, déterminer l'augmentation de volume de l'air, et, en supposant les accroissements égaux aux différences des températures, évaluer la température de l'espace où se trouvait l'enveloppe du thermomètre. Il plaça ce thermomètre dans une moufle et détermina la température de fusion de l'argent et de plusieurs alliages d'argent, d'or et de platine, car ce pyromètre ne pouvait atteindre la fusion de l'or. Il a trouvé ainsi :

	Température centigrade.
Chaleur toute rouge.	650
Chaleur orange.	900
Fusion de l'argent. . . . . - .	1000
Argent à $\frac{1}{10}$ d'or.	1050
Argent à $\frac{1}{4}$ d'or.	1120

Les nombres donnés par M. Prinsep ont été calculés en prenant pour coefficient de dilatation de l'air le nombre 0,00375, tandis que ce coefficient est 0,00367; M. Prinsep ayant opéré avec de l'air sec, on doit calculer la température d'après ce dernier nombre. En remontant aux déterminations expérimentales citées dans le mémoire (tableau n° 2, page 272 des *Annales de Chimie et de Physique*), on voit que relativement à la fusion de l'argent deux expériences seules ont servi à l'évaluation de la température de fusion, la quatrième et la cinquième. D'après les observations, le volume de la sphère d'or dont il a fait usage étant de 10 pouces cubes à la température extérieure, on a, d'après les températures centigrades :

1. Pelouze, ouvrage cité plus haut, p. 90 et suiv.
2. *Annales de Chimie et de Physique*, 2e série, t. XLI, p. 247.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	VOLUME de la sphère d'or, avant l'expérience.	TEMPÉRATURE extérieure.	VOLUME	
			de l'air expulsé par la chaleur.	de la sphère d'or échauffée.
4	10	32,2	7,643	10,442
5	10	34,4	7,775	10,465

En nommant T la température de la masse gazeuse, et faisant $\alpha = 0{,}00367$, on a,

Expérience n° 4. $$\frac{10{,}442}{1 + \alpha (T - 32{,}2)} = 10 - 7{,}643,$$

d'où

$$T = 967°.$$

Expérience n° 5. $$\frac{10{,}465}{1 + \alpha (T - 34{,}4)} = 10 - 7{,}775,$$

d'où

$$T = 1043{,}5;$$

c'est-à-dire qu'à 967° l'argent n'était pas fondu tout à fait et qu'à 1043,5 l'argent avait été fondu, de sorte que le point de fusion était dépassé. La moyenne des deux valeurs est environ 1000, mais rien ne dit que la limite ne soit pas plus rapprochée de l'une que de l'autre des températures. On voit que si le terme de fusion de l'argent n'est pas éloigné de 1000°, ces expériences ne permettent pas de lui assigner une valeur exacte.

M. Pouillet [1], en 1836, se livra à une série de recherches importantes sur l'évaluation des hautes températures, en employant simultanément la dilatation de l'air renfermé dans un thermomètre à réservoir en platine, la chaleur spécifique du platine, et par conséquent l'échauffement communiqué à une masse d'eau par une sphère en platine préalablement élevée à la tem-

1. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. III, p. 782. — POUILLET, *Traité de Physique*, 4e édition, t. I, p. 269 et 299.

pérature que l'on voulait déterminer, et enfin les courants thermo-électriques sur lesquels nous reviendrons plus loin. Il disposa le premier un appareil manométrique de façon à connaître exactement la pression de l'air contenu dans le thermomètre, ainsi que la température de la petite quantité d'air placée entre le mercure du manomètre et la boule du réservoir échauffé. Il détermina de cette manière, avec le thermomètre à air, la température d'une enceinte jusqu'à la fusion de l'argent, et ensuite les températures plus élevées au moyen de la chaleur spécifique du platine, en supposant que la loi d'accroissement des capacités calorifiques de ce métal restât la même au delà de 1000° qu'avant cette limite.

Voici quelques-uns des résultats qui se déduisent de ses expériences :

	Température en degrés centigrades.
Rouge naissant (bien visible)	525
Rouge sombre	700
Rouge cerise naissant	800
Rouge cerise	900
Rouge cerise clair (fusion de l'argent pur)	1000
Fusion de la fonte blanche, très-fusible	1100
Rouge orangé foncé	1200
Fusion de l'or	1250
Rouge blanc	1300
Blanc éblouissant (le fer fond entre 1500 et 1600°)	1500

M. Pouillet, en outre, a conclu de ses expériences que les plus hautes températures que l'on peut produire ne sont pas très-éloignées des derniers nombres précédents, et ne sont pas aussi élevées qu'on l'avait cru jusqu'alors. Il rectifia donc les idées que l'on s'était faites relativement aux limites que l'on peut atteindre par les moyens physiques et chimiques les plus puissants.

L'air comme les gaz sont évidemment les corps dont on doit supposer la dilatation la plus uniforme, car à mesure que la température s'élève, ils s'éloignent de leur changement d'état, ce qui n'a pas lieu avec les corps solides et avec les liquides. Mais cette

régularité dans la dilatation des gaz existe-t-elle encore au delà du terme d'ébullition du mercure? C'est ce que l'on ne peut affirmer, puisque l'on prend la dilatation de l'air elle-même pour terme de comparaison. On ne peut que supposer cette dilatation uniforme et rapporter les températures à celles qui sont exprimées en vertu de cette hypothèse qui, jusqu'ici, a paru la plus simple de celles que l'on peut faire pour la comparaison des températures.

M. Silbermann [1] a proposé l'emploi d'un pyromètre à air à réservoir en platine, mais à capacité mobile, de façon à opérer à volume constant. Il l'a employé à la détermination des températures de fusion de quelques métaux conjointement avec M. Jacquelain. Voici quelques-uns des nombres obtenus ainsi; on y a joint plusieurs déterminations de températures de fusion données par M. Person et obtenues avec le thermomètre à air [2];

MÉTAUX.	TEMPÉRATURES DE FUSION.	
	Silbermann et Jacquelain.	Person.
Étain	236,0	232,7
Bismuth	266,0	266,8
Plomb	321,0	326,0
Cadmium	372,0	321,0
Zinc	436,0	415,3
Antimoine	630,0	»
Argent	1100	»
Cuivre rouge	1180	»
Or	1260	»

Les nombres obtenus par MM. Silbermann et Jacquelain me paraissent, en général, trop élevés surtout à partir de la fusion de l'antimoine.

M. Regnault, dans ses recherches sur la mesure des températures [3], a indiqué plusieurs méthodes qui permettent de se mettre

1. *Bulletin de la Société d'Encouragement*, p. 110; 1853.
2. *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. XXIV, p. 136.
3. *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXI, p. 168.

à l'abri des changements qui peuvent survenir dans la masse totale du gaz confiné dans le pyromètre, en ce qu'elles ne reposent que sur la détermination de la densité du gaz qui est contenu dans le réservoir pyrométrique à un moment donné.

Voici comment j'ai fait usage, dans ces recherches, en la modifiant un peu, d'une de ces méthodes, qui donne toute garantie d'exactitude en raison des vérifications qu'elle permet. Cette méthode consiste à réunir le réservoir pyrométrique qui peut être en verre, en porcelaine ou en fer, avec un appareil manométrique, à faire varier la force élastique du gaz contenu dans le pyromètre à une température déterminée et à évaluer le changement de volume du gaz dans le tube manométrique, ainsi que la variation de pression soit en plus, soit en moins. En exprimant que la masse du gaz reste la même, on a une formule simple dans laquelle il n'entre que le volume du ballon du pyromètre ainsi que la température inconnue, en fonction du changement de volume observé dans le manomètre et des forces élastiques du gaz. Le volume du ballon étant connu, on a la température que l'on cherche.

Voici, du reste, la description de l'appareil et la manière de calculer la température (Voir planche 19, *fig.* 1) :

Le ballon ou le réservoir thermométrique V, en porcelaine, en fer, ou en une matière quelconque, est joint par du mastic au moyen d'un tube capillaire *mn* de même nature à un robinet à trois voies *r*. Le tube *mn* a de 30 à 40 cent. de longueur ; son diamètre intérieur doit être de 1 mill. à peu près, et on y introduit un fil en platine de façon à diminuer encore son volume intérieur. Le robinet *r* est joint de l'autre côté à un tube capillaire en verre qui forme la partie supérieure du tube manométrique se trouvant dans la cuve AB remplie d'eau à une température constante. Ce tube manométrique est mastiqué dans une des branches du tube en *u* en fer joint au robinet R, également à trois voies; il peut communiquer avec le tube D, ouvert à l'air libre et dans lequel on verse à volonté du mercure.

On voit qu'à l'aide de cette disposition le réservoir thermométrique V ne peut communiquer avec l'air libre que par une des branches du robinet *r*, soit par le tube D, soit par le conduit S qui est fixé à un tube en caoutchouc. Si ce dernier conduit S est

fermé, le robinet *r* étant disposé pour établir la communication entre D et V, en mettant du mercure dans le tube D, le gaz confiné dans V fait pression sur le mercure en *a*, et la différence de niveau du mercure en *a* et *b* donne la force élastique de ce gaz, connaissant la pression barométrique. Si l'on échauffe V, le gaz intérieur se dilate, le mercure descend en *a* et monte du côté *b*; mais à l'aide du tube D, on peut verser du mercure, maintenir le niveau *a* le même, ou bien par le robinet R enlever du mercure et faire varier la pression. Dans cet appareil, la partie *nm* V peut être portée à la température que l'on veut évaluer, et la partie *ra* doit être maintenue à une température constante au moyen du bain d'eau contenue dans AB. Il faut noter qu'au moyen d'un écran MN qui est une planche ou même un mur placé entre l'appareil AB et le fourneau où l'on place V, on évite l'action calorifique exercée sur le gaz à l'intérieur du tube *ra*.

Si l'on agissait toujours avec la même masse d'air confiné dans V, en plaçant successivement le réservoir dans la glace fondante et dans l'enceinte dont on veut évaluer la température, en se fondant sur la loi de Mariotte et connaissant le volume du ballon et du tube, il serait facile, d'après le coefficient de dilatation du gaz, d'en conclure la température inconnue. Telle est la méthode employée par M. Pouillet pour opérer avec son pyromètre à air dont il a été question plus haut.

Mais on peut se rendre indépendant de la masse totale de gaz qui existe à un moment donné dans l'appareil, et ne déterminer que des pressions, pourvu que le tube manométrique soit divisé en parties d'égale capacité. Si l'on appelle V, le volume du ballon du pyromètre, D son coefficient de dilatation cubique, et T sa température; *m* le volume du tube capillaire de même section que le réservoir et qui se trouve soudé à lui; *n* le volume du tube capillaire en verre qui joint le pyromètre au manomètre; *v* le volume du tube de verre du manomètre, jusqu'au niveau *a* du mercure à l'origine de l'observation, K le coefficient de dilatation cubique du verre et *t* la température du bain d'eau qui entoure le manomètre dans AB; H la force élastique du gaz contenu dans le pyromètre et mesuré au moyen de la pression barométrique et de la différence des niveaux du mercure dans le manomètre; la densité du gaz à 0° étant d_0, et le coefficient de dilatation de

ce gaz étant α, on a pour la masse de gaz renfermé dans l'appareil :

$$\left[\frac{V(1+DT)}{1+\alpha T}+\left\{\frac{m\left(1+D\frac{T+t}{2}\right)}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}+\frac{n\left(1+K\frac{T+t}{2}\right)}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}\right\}+\frac{v(1+Kt)}{1+\alpha t}\right]\frac{d_0 H}{760^{mm}}.$$

Lorsque, comme je l'ai fait avec l'un des pyromètres, une partie de la longueur des tubes $m\,n$ et r se trouve maintenue à une température constante θ autre que t par un bain d'eau, il suffit pour la correction relative à la petite partie de m qui est à une température variable, de supposer cette dernière égale à $\frac{T+\theta}{2}$.

Si, la température du pyromètre et du manomètre restant la même, on fait varier la force élastique du gaz intérieur en versant du mercure dans la branche du manomètre, ou en en faisant écouler, et que cette force élastique devienne H', le volume v deviendra $v+a$ ou $v-a$, le volume a mesuré dans le tube manométrique étant égal à cinq, dix ou quinze cent. cubes. On aura, en supposant par exemple que $H' > H$ et que le niveau a vienne en a' :

$$\left[\frac{V(1+DT)}{1+\alpha T}+\left\{\frac{m\left(1+D\frac{T+t}{2}\right)}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}+\frac{n\left(1+K\frac{T+t}{2}\right)}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}\right\}+\frac{v(1+Kt)}{1+\alpha t}-\frac{a(1+Kt)}{1+\alpha t}\right]\frac{d_0 H'}{760^{mm}}$$

En égalant les deux expressions, réduisant les facteurs communs, et exprimant par y la valeur de :

$$\frac{m\left(1+D\frac{T+t}{2}\right)}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}+\frac{n\left(1+K\frac{T+t}{2}\right)}{1+\alpha\frac{T+t}{2}}$$

qui représente la masse de la petite quantité de gaz contenue dans les tubes capillaires, laquelle, dans les expériences, était assez petite pour être au-dessous de $\frac{1}{200}$ de celle contenue dans le réservoir V du pyromètre; on a :

$$\frac{V(1+DT)}{1+\alpha T}+y=\left[\frac{aH'}{H'-H}-v\right]\left(\frac{1+Kt}{1+\alpha t}\right)$$

Dans cette expression T est seule inconnue, il suffit donc de l'observation des deux pressions H et H' et du changement de volume aa' pour déterminer la température T du pyromètre. Dans le calcul de T, on peut éviter de résoudre complétement l'équation, car $m+n$ dont la valeur n'atteint pas $\frac{1}{200}$ de V contenant aussi T, on calcule d'abord par approximation une valeur de T en supposant y nul, puis en exprimant y au moyen du nombre trouvé, on arrive à obtenir $\frac{V(1+DT)}{1+\alpha T}$ et par suite T au moyen de deux approximations de ce genre.

La limite d'erreur de cette méthode tient en grande partie à l'exactitude avec laquelle la quantité $\frac{V(1+DT)}{1+\alpha T}$ est déterminée expérimentalement au moyen de H, H' et de a. Dans les expériences que j'ai faites, et avec mes appareils, j'ai vu que l'on pouvait avoir une différence de quelques millièmes au plus dans deux expériences consécutives. A l'aide d'un certain nombre de déterminations dont on prend les moyennes, on arrive à une évaluation qui, dans les températures élevées, ne peut différer de la véritable valeur que d'un petit nombre de degrés, ainsi qu'on le verra plus loin.

L'expression simple ou la fonction de la température à laquelle on est conduit, est, comme on le voit, indépendante de la masse totale du gaz qui se trouve à un moment donné dans le réservoir du pyromètre; il suffit que cette masse reste la même pendant que l'on observe le gaz sous deux pressions diverses. On peut, du reste, au moyen du robinet à trois branches r, qui est fixé au tube capillaire en verre, situé à la partie supérieure du manomètre et du conduit S, enlever du gaz, en remettre d'autre également sec, y introduire de l'azote, etc.: une fois le robinet r

et le tube S fermés, on peut recommencer une nouvelle détermination, et cela à plusieurs reprises pendant que la température du pyromètre est stationnaire; on peut donc, pour ainsi dire, jauger la masse du gaz contenu dans la capacité du pyromètre pendant toute la durée de l'opération, et l'on reconnaît alors, quand les déterminations sont les mêmes, que les indications pyrométriques sont obtenues dans des conditions régulières. Il est facile également d'agir sous diverses pressions, et l'on peut arriver ainsi à une grande précision. On n'a pas fait usage d'hydrogène qui présente des phénomènes particuliers en présence des corps chauffés au rouge, et on s'est borné à employer l'air et l'azote.

M. Regnault, dans ses recherches, indiquait la séparation complète du réservoir thermométrique et du manomètre pendant la durée de l'action calorifique; dans mes expériences, les deux appareils ne sont restés unis l'un avec l'autre que pour pouvoir suivre d'une manière continue la marche du pyromètre à air, avec celle d'un pyromètre thermo-électrique qui sera décrit dans le paragraphe suivant. D'ailleurs, le robinet à trois voies permettait de changer la pression intérieure, de façon à la rendre toujours peu différente de la pression atmosphérique.

A l'aide de la méthode précédente, j'ai pris les températures d'ébullition de l'eau, du mercure, du soufre, et pour le changement d'état de ce dernier corps, j'ai obtenu à moins de 1° la même température que celle qui est donnée par M. Regnault, dans ses recherches sur les chaleurs latentes; on l'indiquera dans le paragraphe suivant.

J'ai déterminé alors la température du point d'ébullition du zinc. Je me suis servi de trois sortes de pyromètres, deux en porcelaine et un en fer, contenant de l'azote sec. L'un des pyromètres en porcelaine provenait de la fabrication de M. Gosse; il est vernissé à l'extérieur et le tube en porcelaine qui s'y trouve soudé a 1 mill. environ de diamètre; du reste, le volume intérieur du tube a été diminué encore par l'introduction d'un fil de platine ou d'or, de sorte que ce volume a été inférieur à $\frac{1}{200}$ de celui du ballon, et cela par un jaugeage ordinaire après la rupture de l'appareil. Les irrégularités intérieures du tube, pourvu que ce tube tienne la pression, ne peuvent donc avoir aucune

influence appréciable sur les effets observés. Un autre pyromètre (provenant de chez M. Clauss) était en porcelaine épaisse et vernissé à l'intérieur. Il avait le réservoir cylindrique, et par une dépression à la base du cylindre permettait au pyromètre thermo-électrique de se placer dans l'axe de l'appareil. L'appareil en fer a été fait avec beaucoup de soin par M. Golaz. Le tube adjonctif était parfaitement régulier à l'intérieur et son volume a été réduit de beaucoup par l'introduction d'un fil de fer.

Les réservoirs thermométriques n'ont pas présenté de déformation sensible après l'action calorifique qui, d'ailleurs, comme on va le voir, jusqu'à l'ébullition du zinc, n'est pas très-élevée; cela résulte de la mesure du volume de ces réservoirs avant et après chaque opération.

Je dois signaler une difficulté que l'on rencontre dans la détermination des températures, quand elles atteignent le rouge; elle réside dans la dessiccation des parois des réservoirs thermométriques, ainsi que du gaz contenu. Il faut maintenir ces réservoirs à la température rouge pendant un certain temps, et changer l'air un grand nombre de fois au moyen du robinet à trois voies pour avoir des résultats sur lesquels on puisse compter; pour surcroît de précaution et laisser toujours l'air sec à l'intérieur du tube manométrique, j'ai placé dans un petit creuset en platine *d*, soutenu par frottement contre le verve au haut du tube *a*, un fragment de chlorure de calcium fondu.

Pour porter le zinc à l'ébullition, je me suis servi de vases en fer disposés comme l'indique la figure 2, et formés au moyen de bouteilles à mercure A B, de la contenance de 2 à 3 litres, dans lesquelles un tube en fer C D servant de moufle pénétrait par l'un des côtés. Ce tube C D était fermé au fond C et à l'entrée en D, de façon à ne laisser passer un dehors que la tige *m* du pyromètre. Le tube *m* sortait latéralement du fourneau, de sorte que les pyromètres tels que V pouvaient occuper la partie centrale du tube et de la cornue en fer. Cette cornue était fermée à la partie supérieure en A au moyen d'une plaque de fer, et un tube latéral E, sortant aussi du fourneau, donnait issue au zinc distillé. Le pyromètre V était entouré de limaille de fer ou de kaolin, et le tube C D était fermé à son orifice D par de l'argile; ainsi tout refroidissement était impossible autour de V.

Lors de l'ébullition des corps à haute température, il y a d'au-

tres conditions à remplir que lorsqu'on porte de l'eau à l'ébullition ; en effet, pour ces matières, il faut que les vases soient au milieu d'un fourneau au rouge, et, ainsi que M. Regnault l'a prouvé[1], il peut y avoir une grande différence entre la température de la vapeur et celle du liquide qui bout sous une pression déterminée, car les vapeurs peuvent être surchauffées par les parois du vase. Aussi ai-je fait plonger le tube C D dans le bain de zinc lui-même à sa partie supérieure, de façon à l'entourer du métal en ébullition et non pas en le plaçant dans la vapeur du zinc. Je dois dire que chaque appareil n'a pu me servir tout au plus que dans deux opérations successives, le zinc attaquant rapidement le fer.

On a pris pour coefficient de dilatation en volume de l'air le nombre 0,003665; pour celui de la porcelaine 0,0000108 trouvé par M. H. Deville, et pour le fer 0,0000355. Du reste, en admettant que la porcelaine ne se dilatât pas, on n'aurait vers 900° qu'une température de 12° plus basse que celle que l'on devrait trouver; mais le nombre de 0,0000108 ne peut guère être en erreur de 1/4 de sa valeur, de sorte que l'on ne peut se tromper de plus de 3 à 4° sur la température que l'on cherche. Celle du fer, en la supposant nulle, donnerait plus de 30° de différence ; en admettant que l'on se trompe de 1/8 sur la valeur de ce coefficient, ce qui ne peut avoir lieu, cela ne ferait encore qu'à peine 4° ; les erreurs d'observations à ces températures élevées sont plus grandes que ces nombres.

1. *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXVI, p. 515 et suiv.

On a eu :

	VOLUME V du réservoir du pyromètre à 0° correction faite du tube capillaire.	VOLUME Z du gaz qui, dilaté à la températ. T occuperait V, c'est-à-dire la valeur de $\frac{V(1+DT)}{1+aT}$.	RAPPORT des volumes $\frac{V}{Z}$.	TEMPÉRATURE centigrade T.	OBSERVATIONS.
Th. en porcelaine (fabriqué par M. Clauss). Air sec intérieur, pression barométrique 758mm,47.	cc. 149,578	35,154	4,2552	890,4	Moyenne de 4 déterminations.
Id. pression barométrique extérieure 762mm,75........	Id.	35,542	4,2086	877,6	Moyenne de 2 déterminations.
Th. en porcelaine (fabriqué par M. Gosse). Air intérieur, pression barométrique 759mm,89.	57,300	13,378	4,2831	898,0	Moyenne de 2 déterminations.
Th. en fer. Azote à l'intérieur....... Pression barométrique 755mm,45.	131,074	30,950	4,2350	891,0	Moyenne de 2 déterminations.

Les températures moyennes ont donc été :

Avec le premier pyromètre en porcelaine 884,0
Avec le deuxième.............. 898,0
Avec le pyromètre en fer......... 891,0
Moyenne....... 891°,0

Antérieurement à ces recherches [1], j'avais obtenu le nombre 932° en faisant usage d'un pyromètre en platine; mais, comme je l'ai expliqué [2], ce nombre était trop élevé.

En comparant dans un même pyromètre en porcelaine (celui

1. *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXVIII.
2. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LVII, p. 925.

n° 2), le volume du gaz à la température de l'ébullition du zinc, ainsi qu'à zéro, c'est-à-dire en me servant du pyromètre à air de M. Pouillet, comme dans le premier mémoire, j'ai souvent remarqué des changements anormaux dans la masse totale de gaz confinée (surtout avec le fer et l'azote); néanmoins, la moyenne obtenue n'a différé que de 7° du nombre indiqué plus haut. En général, le volume de l'air confiné tend à diminuer lors de chaque élévation de température, mais moins qu'en opérant avec le platine, et comme on l'avait indiqué dans le mémoire cité plus haut. Mais le procédé d'opération indiqué ci-dessus met à l'abri de cette cause d'erreur d'ailleurs peu importante. Cette diminution tient-elle à une action exercée entre la couverte intérieure de la porcelaine et les gaz; c'est ce qui est probable, car je n'ai pu observer d'une manière appréciable aucun effet d'endosmose d'air ou d'azote au travers de la porcelaine vernissée et épaisse. Il ne peut donc y avoir, dans l'évaluation de la température d'après la méthode décrite plus haut que des différences peu importantes qui pourraient provenir de la cause que je viens de signaler.

A l'aide des procédés précédents, j'ai comparé la marche du pyromètre à air avec celui d'un pyromètre thermo-électrique, comme on le verra ci-après, et j'ai donné des températures de points fixes qui seront rapportées plus loin et à la fin de ce mémoire.

M. Regnault [1], dans ses recherches sur la dilatation des gaz, en outre des différentes méthodes dont il a fait usage, a proposé, pour la détermination des hautes températures, les deux procédés suivants : le premier consiste à mesurer la densité de la vapeur de mercure contenue dans un réservoir d'une capacité donnée : la facilité et la précision avec laquelle on peut évaluer la quantité de mercure renfermée dans l'espace échauffé, quand on est revenu à la température ordinaire, lui paraissent devoir conduire à des résultats précis. Le second est basé sur l'emploi du gaz hydrogène : un récipient ou un tube d'une capacité donnée est rempli avec ce gaz à la température que l'on veut mesurer et à la pression de l'atmosphère : on fait ensuite passer ce

1. *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXI, p. 267. — *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXIII, p. 39.

gaz dans un petit tube rempli d'oxyde de cuivre chauffé au rouge ; l'hydrogène se combine avec l'oxygène de l'oxyde de cuivre, puis l'eau qui en provient, étant absorbée dans un tube desséchant, sert à donner le poids de l'hydrogène renfermé dans l'enceinte. Connaissant le poids du gaz qui remplit le vase à zéro, on peut en déduire la température. Cette dernière méthode nécessite l'emploi d'un réservoir en porcelaine ou en une matière capable de conserver le gaz hydrogène quand on est à la température rouge.

§ 2. — PYROMÈTRES THERMO-ÉLECTRIQUES.

Un autre phénomène physique que les dilatations et les capacités calorifiques a été mis en usage pour l'évaluation des hautes températures; ce sont les courants thermo-électriques développés au contact de deux métaux qui ne fondent qu'à une température très-élevée. Mon père, en 1835 [1], employa le développement de l'électricité par la chaleur pour mesurer de faibles différences de température, et proposa également leur emploi dans le cas des hautes températures. Il fit usage d'un circuit composé de platine et de palladium, ou même d'un circuit formé de deux fils de platine qui ne sont pas identiquement les mêmes.

En effet, il a observé ce fait très-curieux que deux fils de platine, de diamètres inégaux ou de même diamètre et de fabrication différente, étant joints entre eux sans soudure, donnent lieu à un courant thermo-électrique croissant d'intensité avec la température; il fit quelques observations à la manufacture de Sèvres, conjointement avec M. A. Brongniart, à l'aide d'un appareil basé sur ce dernier effet.

M. Pouillet [2], dans le mémoire cité plus haut, employa sous le nom de pyromètre thermo-électrique un circuit thermo-électrique fer-platine formé par un fil de platine passant, sans le toucher, dans l'axe d'un canon de fusil en fer, et venant se sou-

1. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. I, p. 28. — BECQUEREL, *Traité d'Électricité* en 7 volumes, t. IV, p. 1.

2. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. III, p. 788.

der à la culasse. Ce couple donnait un courant électrique mesuré à l'aide d'une boussole des sinus. Il reconnut que le courant, bien qu'augmentant avec la température, ne croissait pas régulièrement ; vers 600°, l'accroissement d'intensité était moins rapide qu'avant et après cette limite, et dès lors, pour comparer les différences de température des points de jonction des métaux différents, il gradua l'appareil par comparaison avec un thermomètre à air au moyen d'expériences préliminaires.

Depuis, M. Regnault[1] a étudié avec beaucoup de soin le développement des courants thermo-électriques dans un couple fer-platine entre 0° et 300° ; il a montré que la jonction des deux métaux ne devait pas être faite par soudure, mais en réunissant simplement les deux métaux l'un contre l'autre ; néanmoins, même avec cette précaution, il n'a pas trouvé de régularité dans les indications données par les courants thermo-électriques, et, en se plaçant dans les mêmes conditions de température, il n'a pas toujours trouvé la même intensité de courant.

En somme, trois effets physiques ont servi à l'évaluation des hautes températures : les changements de volume des corps, les capacités calorifiques, les courants thermo-électriques. Quoique ces différentes méthodes s'accordent assez bien jusque vers 1 000°, limite admise jusqu'ici pour le point de fusion de l'argent, au-delà, elles ne donnent plus des nombres concordants.

Je ne parle pas des évaluations de température basées sur les calculs des quantités de chaleur données par la combustion, qui ne sauraient conduire à des indications précises en raison des phénomènes complexes qui peuvent se produire. Il est évident que l'on pourrait se servir d'un effet physique quelconque, variable avec la température, pour comparer ces mêmes températures, mais pourvu que l'on connût exactement la loi suivant laquelle il varie ; tel serait, par exemple, l'écoulement d'un fluide, la vitesse du son dans un gaz placé dans un tuyau dont la température est élevée plus ou moins haut, etc. Mais comme les lois des variations de ces effets avec la température ne sont pas exactement connues, on ne peut songer dès à présent à les employer. Nous verrons plus loin que le phénomène d'irradiation peut conduire simplement au but désiré ; mais, en tout cas,

1. *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. XXI, p. 240 ; 1847.

on doit prendre pour point de départ les évaluations données avec le pyromètre à air.

Dans les recherches sur l'irradiation, après avoir opéré à l'aide des principales méthodes dont il vient d'être question, je me suis arrêté à l'emploi des courants thermo-électriques; car il est nécessaire de connaître à chaque instant, et cela très-rapidement, quelle est la température du corps incandescent sur lequel on opère; en outre, ce procédé a l'avantage de permettre d'étudier l'intensité lumineuse de la portion des métaux qui forment le couple thermo-électrique lui-même, en même temps que l'on évalue l'intensité du courant électrique développé, lequel peut servir à faire connaître la température. Il fallait faire choix d'un couple thermo-électrique convenable et adopter un moyen précis d'évaluer l'intensité du courant électrique produit. J'ai dû renoncer à l'emploi du couple fer-platine, en raison de la marche lente de ce pyromètre en 500° et 700°, et ensuite par ce motif, que, le fer s'oxydant, le couple s'altère nécessairement après un certain nombre d'opérations. J'ai renoncé également à l'emploi d'un couple formé par deux fils de platine inégaux, parce que l'intensité du courant devient relativement moins grande à mesure que la température s'élève davantage, et en outre par le peu de force électro-motrice du couple qui ne permet que l'usage d'un galvanomètre, et non pas celui d'une boussole ou d'un magnétomètre toujours plus précis. Mais les différentes conditions exigées pour un bon pyromètre thermo-électrique se trouvent remplies par un couple platine-palladium qui avait été proposé par mon père, ainsi qu'on l'a vu plus haut; ce couple est formé par deux fils, l'un de platine, l'autre de palladium, de 2 mètres de longueur et de $0^{mm},8$ à 1 millimètre de diamètre environ, joints ensemble sans soudure par une de leurs extrémités en les pressant fortement sur 1 centimètre de longueur, et en les entourant, sur cette étendue, à l'aide d'un fil de platine d'un petit diamètre qui les tient serrés l'un contre l'autre.

Ce couple platine-palladium a une force électro-motrice peu différente d'un couple fer-platine pour une différence de température de 0° à 100°; l'intensité du courant électrique développé est donc assez forte. En outre, cette intensité croît avec la température d'une manière assez régulière, comme on le verra plus loin, et ces deux métaux ne s'altèrent pas par l'action de la cha-

leur quand le couple est placé dans un tube de porcelaine ou dans une moufle. Cette dernière qualité est précieuse, car j'ai pu me servir d'un couple de ce genre pendant le cours des expériences faites à l'occasion de ce travail, c'est-à-dire pendant plusieurs mois, sans qu'il ait été altéré. Le fil de palladium seul a diminué un peu de diamètre, par suite peut-être d'une légère altération superficielle ; mais lorsque je l'ai placé dans la flamme d'un bec de gaz alimenté par de l'oxygène ou de l'air, la fraction du fil de palladium placée dans la flamme est devenue rapidement cassante. Il faut donc éviter pour ce couple d'avoir recours à cette source calorifique. On pourrait former un pyromètre d'une disposition plus maniable en adoptant la forme proposée par M. Pouillet pour le pyromètre fer-platine, et qui consisterait en un tube de platine au centre duquel passerait, sans le toucher, un fil de palladium ; de la magnésie ou de l'asbeste tiendraient séparés ces deux métaux. Alors le tube et le fil pourraient être rivés par une extrémité qui servirait de couple thermo-électrique, et les deux autres extrémités seraient en rapport avec l'appareil rhéométrique. Mais les deux fils dont j'ai parlé ont pu suffire à toutes les déterminations dont il va être question dans ce travail. On les a placés dans deux tubes concentriques en porcelaine AB, *ab* (*fig.* 3), ces tubes entrant l'un dans l'autre, et le tube extérieur AB étant fermé en A ; le fil de palladium *m* était dans l'axe du plus petit tube *ab* et le fil de platine *n* entre les deux ; la surface de jonction des deux fils était donc au fond du tube. Quant aux points de jonction de ces fils et des conducteurs du rhéomètre, ils ont été maintenus constamment dans la glace fondante pendant la durée des observations.

Pour mesurer l'intensité du courant, j'ai fait d'abord usage de la méthode par opposition ou par compensation, dans un même circuit dont mon père a tiré un si grand parti dans la mesure des températures [1] ; mais la difficulté de faire varier la température entre des limites assez étendues pour ramener l'équilibre électrique dans le circuit m'a fait renoncer à ce mode d'expérimentation. J'ai préféré l'emploi du magnétomètre ou boussole dite de Weber [2], formée par un fort barreau aimanté, creux, mobile

1. *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, t. XXXII ; 1860.

2. Celle que j'ai employée a été construite par M. Ruhmkorf.

au milieu d'un cadre en cuivre de galvanomètre pour amortir les oscillations; ce barreau porte un miroir, et l'observateur placé à distance examine à l'aide d'une lunette l'image des divisions tracées sur une règle divisée fixée à la lunette. Ce procédé, comme on le sait, donne des déviations qui sont exactement proportionnelles aux intensités des courants électriques; si, en outre, l'on a soin de prendre un circuit assez long pour que la résistance à la conductibilité des parties des fils de platine et de palladium portés à la température rouge ne représentent qu'une très-petite fraction de la résistance du circuit total, on peut négliger les variations qui proviennent de l'échauffement de ces fils, et les déviations observées donnent les forces électro-motrices comparées du couple thermo-électrique dans les différentes circonstances de température que l'on étudie.

J'ai de plus reconnu que, lorsque le circuit total conserve la même température et dès lors la même résistance à la conductibilité, le couple thermo-électrique donne toujours sensiblement la même intensité électrique dans les mêmes circonstances de température.

J'ai fait également usage, dans quelques cas, d'un galvanomètre gradué par le procédé que j'ai déjà décrit dans ce recueil[1]; en rapportant les indications à celles qui seraient fournies par le magnétomètre, j'ai pu vérifier l'exactitude des résultats que l'on pourrait obtenir de cette manière, mais sans m'arrêter à l'emploi d'un appareil de ce genre, et en rapportant toujours les intensités du courant aux indications du magnétomètre.

Pour montrer quelle est la marche du pyromètre thermo-électrique par rapport aux pyromètres fer-platine et platine-platine, j'ai placé dans le tableau suivant les résultats des observations faites avec les trois couples placés dans une même moufle dont on a graduellement élevé la température jusqu'au rouge blanc :

1. *Annales du Conservatoire des Arts et Métiers*, t. I, p 733 ; 1861.

LIMITES DE TEMPÉRATURE entre lesquelles les observations ont été faites.	INTENSITÉ DU COURANT ÉLECTRIQUE A TEMPÉRATURE ÉGALE. (Ces résultats sont obtenus avec des rhéomètres différents.) COUPLES		
	Platine-Palladium.	Platine-Fer.	Platine-Platine.
	55,71	51,13	75,12
Fusion de l'or........	53,23	»	»
	50,01	44,35	69,62
	46,46	40,26	64,38
Fusion de l'argent....	44,20	»	»
	43,80	36,06	61,65
	39,08	31,65	55,23
	37,12	30,07	53,90
	35,18	29,02	52,70
	32,18	27,62	50,71
	30,46	27,13	49,15
	28,12	26,79	47,75
	26,89	26,54	47,08
	25,60	26,43	46,53
	24,80	26,08	45,43
	22,75	26,08	43,23
Vers 500°.........	18,87	25,54	39,63
	16,88	25,04	37,70
	14,41	23,88	34,04
	12,47	22,69	32,33
	11,24	21,59	30,97
	9,39	20,22	28,85
	8,69	19,10	27,14
250°..........	8,18	18,14	26,14

Dans ce tableau, les intensités avec les trois couples ne donnent pas les rapports de leurs forces électro-motrices respectives, car les circuits n'ont pas la même résistance à la conductibilité; mais elles indiquent, dans chaque cas, de quelle manière ces forces varient proportionnellement l'une à l'autre. On voit, par exemple, que le couple fer-platine, comme l'avait observé M. Pouillet, offre de 600° à 700° un temps d'arrêt dans sa marche, puis donne des indications qui augmentent ensuite. Le couple platine-platine, d'abord assez intense, diminue de sensibilité à mesure que la température s'élève. Le couple platine-pal-

ladium donne au contraire un courant électrique qui augmente avec assez de régularité depuis les plus basses températures jusqu'aux limites les plus élevées.

Il est évident que, si l'intensité du courant thermo-électrique développé dans le couple platine-palladium croissait suivant une loi simple et parfaitement régulière, ce pyromètre serait le plus facile à employer et le plus exact pour l'évaluation des hautes températures. Mais, comme on va le voir, bien que l'intensité du courant augmente assez régulièrement avec la température, cependant la loi suivant laquelle a lieu cet accroissement ne peut être exprimée d'une manière simple, et il faut le graduer par comparaison avec un thermomètre à air, ou bien en se rapportant à des points fixes bien déterminés.

On a d'abord comparé la marche de ce pyromètre thermo-électrique platine-palladium avec celle de thermomètres étalons bien calibrés, dont les indications ont été rapportées à celles du thermomètre à air. Les points fixes 100° et 358°,50 [1] ont été obtenus dans la vapeur d'eau bouillante et dans le mercure bouillant, et même je dois dire que dans chaque série d'expériences j'avais soin de déterminer, à l'aide du magnétomètre, l'intensité du courant thermo-électrique correspondant à 100°, de façon à rapporter toutes les indications de cet appareil à celle que donne le couple placé dans la vapeur d'eau bouillant à 76 centimètres de pression. Cette précaution est nécessaire, car le circuit du magnétomètre change de résistance extérieure avec la température ainsi qu'avec l'intensité magnétique du barreau aimanté, de sorte que, suivant la température extérieure, à 100° la déviation du magnétomètre peut n'être pas toujours la même. Il n'est pas besoin de dire que les fils doivent être renfermés dans les tubes en porcelaine indiqués plus haut et comme on l'a représenté fig. 3, et ne pas être en contact immédiat avec les matières en vapeur. Les points de jonction des fils de cuivre qui réunissent les extrémités du fil du magnétomètre et des fils de platine et de palladium étant placés dans des tubes en U plongés dans la glace fondante, les déviations du barreau du magnétomètre

1. On a adopté le nombre 358°,50 pour la température de l'ébullition du mercure par rapport au thermomètre à air, comme résultant des expériences de M. Regnault. (Voir *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, t. XXI, p. 230; 1847.)

peuvent être considérées comme proportionnelles aux intensités des courants thermo-électriques développés dans le couple pour les températures marquées par les thermomètres. La fig. 4 donne une indication de la disposition des fils métalliques qui composent le couple, en n'employant qu'un seul tube de porcelaine dans lequel passe le fil de palladium, ce qui suffit quand on opère dans un gros tube faisant moufle.

Il y a une dernière précaution qui doit être indiquée ici; comme les déviations du barreau aimanté ne doivent pas dépasser 3° ou 4°, on a soin de placer dans le circuit des bobines de résistance, de façon que, dans le cours d'une même expérience, ces déviations n'excèdent pas les limites des quantités que l'on peut observer directement avec la lunette du magnétomètre.

Afin de suivre les variations de température du couple platine-palladium, conjointement à celles de l'intensité du courant thermo-électrique, on a placé deux tubes dans une petite chaudière contenant 1 litre de mercure environ et fermée par un couvercle percé de deux ouvertures : l'un en verre, scellé par en bas, a reçu la portion réunie des fils de platine et de palladium du couple, et en même temps un thermomètre à mercure, de façon que les points de jonction des fils formant le couple fussent à la hauteur du réservoir du thermomètre; puis, on a rempli le tube de sable fin pour entourer le couple et le thermomètre. L'autre tube, fixé dans le couvercle de la chaudière, et qui était en tôle, servait à diriger les vapeurs mercurielles dans la cheminée du laboratoire.

On a échauffé la chaudière au moyen d'un fourneau à gaz en ouvrant plus ou moins le robinet du gaz; quand on a eu une température fixe au thermomètre, on l'a maintenue assez longtemps tout en agitant le mercure, pour lire l'indication du magnétomètre ainsi que celle du thermomètre. On a fait usage de quatre thermomètres : deux à échelles arbitraires et deux à échelle fixe dont on a rectifié les indications.

Pour ne pas multiplier les tableaux des expériences, je ne rapporterai pas les résultats des différentes déterminations expérimentales faites entre 0° et 358°,50; mais je donnerai plus loin le résumé de ces observations pour des températures croissant de 50° en 50°.

On reconnaît, d'après les résultats de toutes ces déterminations, que l'intensité du courant électrique augmente avec la température, mais plus rapidement que cette température elle-même, puisque le rapport R de l'intensité du courant I à la température T croît à mesure que T devient plus grand. Cependant entre 300° et 400° il y a une perturbation dans la manière dont varie ce rapport. A température égale du couple, ce rapport n'est pas le même dans chaque expérience, car l'intensité magnétique du barreau, ainsi que la conductibilité du circuit peut changer; mais il reste le même pendant une même série de déterminations. On a rapporté, du reste, tous les résultats à la déviation donnée à la température de l'eau bouillant à $0^m,76$ de pression.

On reconnaît également que le rapport $\frac{R-R'}{T-T'}$ n'est point constant, et qu'il diminue depuis 0° jusqu'à 358°,50 de sorte qu'une formule empirique de la forme $I = AT + BT^2$, dans laquelle A et B sont deux coefficients constants, ne saurait lier la température T à l'intensité du courant I entre ces deux limites extrêmes des observations; mais si la différence de température ne dépasse pas 50°, on peut prendre la formule précédente pour représenter les résultats, et les températures calculées ne diffèrent pas de $\frac{1}{2}$ degré des températures observées. Ce point est important à signaler, car on peut interpoler des valeurs entre les résultats des expériences, et l'on a ainsi des nombres qui ne diffèrent que fort peu de ceux que donneraient les observations. C'est ainsi qu'ont été obtenues les valeurs intermédiaires entre les nombres observés dans les tables que renferme ce mémoire, et que l'on trouve l'intensité électrique correspondante à une température donnée, quand on connaît les intensités relatives à deux températures voisines de celle-ci.

Pour les températures inférieures à 0°, on a fait usage d'une série de déterminations faites en plongeant le couple, convenablement entouré d'un tube de verre, dans une petite éprouvette contenant 20 ou 30 grammes de protoxyde d'azote liquide. Au moment où le protoxyde d'azote est entré en ébullition, la température est restée constante et a donné une déviation également constante au magnétomètre. A la suite de cette expérience, on a fait solidifier du mercure dans l'éprouvette, et l'on a attendu

que le métal se liquéfiât; on a eu également une déviation fixe indiquant la température de fusion de ce métal. On a admis les nombres — 87°,9 et — 38°,5 trouvés par M. Regnault à l'aide du thermomètre à air, comme indiquant les températures fixes lors de ces changements d'état [1].

La table suivante donne la marche du pyromètre platine-palladium de 50° en 50° depuis — 100° jusqu'à l'ébullition du mercure. Les températures sont évaluées en fonction du thermomètre à air; les intensités du courant électrique sont rapportées à celle que l'on trouve quand le couple thermo-électrique est à 100°.

TEMPÉRATURE T.	INTENSITÉ I du courant électrique.	RAPPORT $R = \frac{I}{T}$.	DIFFÉRENCES D. $D = \frac{R' - R}{T' - T}$.
— 100	— 79,96	0,7996	
			0,000388
— 50	— 40,95	0,8190	
0	»	»	0,001339
+ 50	+ 47,65	0,9529	
			0,000942
100	100	1,0000	
150	156,72	1,0448	0,000896
200	216,03	1,0801	0,000706
250	277,67	1,1107	0,000612
300	339,95	1,1332	0,000450
350	392,66	1,1219	— 0,000226
358,5	401,50	1,1199	»

Si l'on voulait avoir l'intensité électrique relative aux températures intermédiaires, en admettant de 50° en 50° la formule $I = AT + BT^2$, on aurait pour les valeurs de A et de B :

1. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XXVIII, p. 325, et *Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris*, t. XXVI, p. 525.

	VALEUR DE	
	A.	B.
De — 100 à — 50°	0,8384	0,000388
De — 50 à + 50	0,8860	0,001339
De 50 à 100	0,9058	0,000942
De 100 à 150	0,9104	0,000896
De 150 à 200	0,9389	0,000706
De 200 à 250	0,9577	0,000612
De 250 à 300	0,9982	0,000450
De 300 à 350	1,2010	—0,000226

Au moyen de ces deux tableaux, on a donc les degrés pyrométriques du couple platine-palladium par rapport aux températures centigrades.

J'ai cherché à déterminer les températures de quelques points fixes de changements d'état des corps, tels que celles de la fusion ou de la volatilisation des métaux, points fixes qui, de même que la fusion de la glace, l'ébullition de l'eau ou du mercure, ont lieu à des températures constantes quand les corps sont purs.

On a opéré d'abord en plaçant le couple thermo-électrique dans du soufre, du cadmium et dans du zinc en ébullition; les deux fils formant le couple ont été placés dans de petits tubes en porcelaine environnés d'un tube en porcelaine d'un plus large diamètre, fermé par en bas, comme on l'a vu fig. 3, et lequel plongeait dans la vapeur du corps en ébullition; afin que le déplacement de l'air contenu dans le tube ne vînt point refroidir les points de jonction des fils, on a rempli les tubes en porcelaine au moyen de sable très-fin. On a trouvé qu'une cornue en grès de la capacité de 1 litre environ, ayant une tubulure supérieure pour introduire le couple et donnant issue par la seconde tubulure latérale au corps soumis à la distillation, était très-commode pour déterminer facilement le degré pyrométrique du changement d'état. Dans chaque cas on a distillé 300 grammes de matière, et l'on s'est arrêté quand la déviation du magnétomètre est restée constante pendant au moins 20 minutes. Les indications, comme toujours, ont été rapportées à celles de

l'ébullition de l'eau prise égale à 100°. Quant aux points de fusion de l'or et de l'argent, on verra plus loin comment ils ont été obtenus. On a obtenu ainsi les résultats indiqués dans la deuxième colonne du tableau suivant :

	INTENSITÉ du courant thermo-électrique ou degré pyrométrique du couple.	TEMPÉRATURE fixe admise.
Ébullition du protoxyde d'azote à 760mm..	—70,7	—87,9
Fusion du mercure	—31,7	—38,5
Ébullition de l'eau à 760mm de pression....	100,0	100,0
Ébullition du mercure à 764mm,42.......	401,5	358,5
Ébullition du soufre à 767mm,12.........	535,3	[1] 448,3
Ébullition du cadmium ordinaire à 760mm.	1060,0	»
Ébullition du zinc ordinaire à 760mm......	1445,0	[2] 891
Fusion de l'argent.	1504,24	»
Fusion de l'or.	1805,11	»
Fusion du cuivre rouge	2120,0	»

Quand on opère dans la vapeur d'eau comme dans la vapeur de soufre et dans celle du mercure, il faut avoir soin que ni les vapeurs ni les liquides ne viennent toucher aux fils métalliques du pyromètre; on obtient ce résultat au moyen des tubes en porcelaine représentés figure 3, et dont on a parlé plus haut.

On a reconnu que, dans la vapeur de soufre, dans celle du zinc, comme dans celle de l'eau et du mercure, la température est restée constante du moment que l'ébullition s'est produite. Dans la vapeur de zinc, cette température est restée inférieure à celle de la fusion de l'argent quoique d'un petit nombre de degrés (28 à 30). On le prouve d'abord par le degré pyrométrique indiqué dans le tableau; car le point de fusion de l'argent, comme on le verra plus loin, a été déterminé avec beaucoup de soin, ainsi que celui de la fusion de l'or. D'un autre côté, on a placé au fond du tube en porcelaine fermé plongeant dans le zinc

1. M. Regnault dans ses recherches sur les chaleurs latentes (*Mémoires de l'Académie des Sciences*) a trouvé 447,3 pour la température d'ébullition du soufre à 760mm de pression; cela ferait 448,3 à 766mm,12.

2. Ce nombre a été déterminé plus haut.

bouillant, un petit creuset de porcelaine contenant un fil d'argent pur enroulé sur lui-même et recouvert de sable. Après une demi-heure de séjour du fil dans le tube, on a retiré le creuset, et le fil n'était pas fondu ; quelques spires seulement se trouvaient agglomérées les unes aux autres, ce qui montre que le métal s'était soudé par place et s'était ramolli. Ainsi, quoique le point d'ébullition du zinc soit près du point de fusion de l'argent, il ne l'atteint pas.

Lorsque le cadmium a commencé à distiller, le pyromètre a donné une déviation correspondant à l'intensité électrique égale à 1018; elle s'est maintenue pendant quelque temps, puis a monté très-lentement jusqu'à présenter une intensité égale à 1060 dans l'espace d'un quart d'heure, et ensuite elle est restée à peu près fixe à ce point; pendant tout ce temps le cadmium distillait. On a attribué ce résultat à ce que le métal n'était pas pur, et l'on a porté seulement le dernier nombre dans le tableau précédent.

Après avoir déterminé les points d'ébullition de plusieurs liquides, j'ai cherché à évaluer les températures de fusion de différents métaux, et principalement de l'argent et de l'or, qui fondent à des degrés assez élevés. J'ai alors disposé l'appareil (*fig.* 4), de manière à mettre dans le tube horizontal en porcelaine AB qui traverse le fourneau, d'un côté le couple thermo-électrique palladium-platine S; de l'autre, à l'aide d'une tige en fer L, un anneau également en fer DE, vu en coupe dans le tube et représenté en plan à côté de ce tube. Cet anneau en fer se maintient au milieu du tube en terre et supporte trois petits crochets en platine $a\ a'\ a''$, dont la longueur a au plus $\frac{1}{3}$ du diamètre de l'anneau. A ces petits crochets se trouvent suspendus des petits fils d'argent, d'or, de platine, qui ne touchent pas à l'anneau ; ils ont au plus la moitié de son diamètre, et, étant librement suspendus, ils se placent verticalement dans l'appareil. D'après cette disposition, si l'on fait mouvoir convenablement la tige L, on peut placer les points de jonction S du couple thermo-électrique très-près des fils $a\ a'\ a''$, de façon qu'à chaque instant les différents fils et le couple thermo-électrique peuvent être considérés comme étant à la même température. L'extrémité C est fermée par un disque de verre mince qui entre à frottement à l'extrémité du tube, et les différents écrans FG en bois, percés d'ouvertures,

sont interposés entre le fourneau et l'observateur. On peut donc, à l'aide d'une petite lunette, non-seulement voir à quel moment les fils d'argent et d'or entrent en fusion, mais encore reconnaître, si l'on opère dans une chambre noire, à quelle limite le fil de platine suspendu ou le fil du couple S lui-même commence à devenir lumineux.

Je me suis servi de fils d'or et d'argent parfaitement purs, et j'ai pu employer les mêmes métaux pendant le cours de ces recherches. L'analyse a constaté, du reste, la pureté des fils soumis aux expériences. On n'a pu opérer, comme on peut le concevoir, que par élévation de température, ce qui est assez difficile, vu la rapidité avec laquelle le fourneau s'échauffe; cependant, en modérant le feu quand on est arrivé près des points de fusion des métaux, on a pu reconnaître assez exactement quelle est l'intensité du courant mesuré au magnétomètre à l'instant de leur fusion.

Quand les fils fondent, c'est par l'extrémité libre que la fusion se produit d'abord. Il y a une expérience qui a présenté cette circonstance curieuse, que le fil d'or avait déjà fondu à moitié lorsque le fourneau a eu un temps d'arrêt dans l'accroissement de sa température; le magnétomètre est demeuré stationnaire pendant cinq minutes, et le fil d'or est resté à moitié fondu. La température ayant augmenté, la fusion a continué. Cette expérience a été faite le 6 juin 1861. En voici les résultats :

DÉVIATION observée avec le magnétomètre.	OBSRVATIONS.
divisions. 237.......	Le fil d'argent commence à fondre à son extrémité libre.
238.......	Tout le fil est fondu.
284.......	Une petite sphère d'or fondu se forme à l'extrémité libre du fil d'or.
284,5.....	Le fil est à moitié fondu.
La déviation revient à 284.......	La fusion du fil d'or s'arrête, et pendant cinq minutes la petite boule d'or fondue reste au bout de la portion de fil non fondue.
285.......	Tout le fil d'or est fondu.

Si l'on cherche, comme il sera dit plus loin, à quelle différence de température correspond l'intervalle de 284 à 285 entre lequel l'effet précédent s'est produit, on voit qu'il correspond à 2° $\frac{1}{2}$. Comme on peut toujours répondre de l'intensité du courant à une division près du magnétomètre, il en résulte que la limite de l'erreur que l'on commet dans ce procédé pyrométrique n'est pas supérieure à 2 ou 3°.

Cependant, d'une manière absolue, les températures de fusion des métaux précédents peuvent être en erreur d'une petite quantité ; car on n'observe que le moment où le fil est en train de fondre, de sorte que la température du point de fusion peut être dépassée à cet instant.

On a fait plusieurs déterminations des points de fusion de l'or et de l'argent ; elles ont donné des nombres à peu près semblables aux précédents. En voici l'indication :

DATE DES EXPÉRIENCES.	DÉVIATION du magnétomètre au moment de la fusion		RAPPORT des INTENSITÉS de l'or à l'argent.	DÉVIATION du magnétomètre au moment de la fusion du cuivre rouge.
	de l'argent.	de l'or.		
6 juin 1861.......	237,0	284,5	1,200	»
16 janvier 1862.....	249,0	298,0	1,195	»
24 janvier 1862.....	255,0	307,0	1,204	360
28 janvier 1862.....	266,0	319,5	1,201	»

En rapportant ces nombres à la déviation donnée par le couple placé dans l'eau bouillante et prise égale à 100, on a pour l'argent et pour l'or des nombres sensiblement égaux à 1504,24 et 1805,11. Du reste, on les trouvera dans le tableau rapporté à la fin de ce mémoire, joints à l'intensité du courant produit au moment de la fusion des métaux usuels, mais sur la pureté desquels on n'est pas certain, ce qui n'a pas lieu pour l'or et l'argent qui ont servi de termes de comparaison dans les expériences d'émission lumineuse.

On peut remarquer que les intensités électriques relatives à la fusion de l'argent ont augmenté entre la première et la dernière observation ; mais comme les rapports entre les nombres relatifs aux points de fusion des métaux restent les mêmes, ainsi qu'entre

celui qui exprime le point d'ébullition de l'eau, on doit rapporter le changement observé aux variations de température du circuit, ainsi qu'aux changements dans l'intensité magnétique du barreau du magnétomètre, et non à un changement dans la force électromotrice du couple thermo-électrique.

Pour opérer avec les métaux autres que l'argent et l'or, le couple platine-palladium a été introduit dans un petit tube de verre ou de porcelaine, suivant la température de fusion, et placé au centre d'une masse de métal fondue avec lenteur; on a maintenu des morceaux solides au milieu de la masse en fusion pour que la température restât la même, et quand elle s'est ainsi maintenue fixe, on a déterminé l'intensité du courant. Les températures obtenues seront indiquées plus loin.

J'ai cherché à comparer le pyromètre à air avec le pyromètre thermo-électrique en plaçant dans le tube en porcelaine de la figure 4 le réservoir en porcelaine ou en fer du pyromètre à gaz, décrit précédemment, et j'ai pu suivre concurremment, par la méthode décrite, la température du pyromètre à air et la déviation donnée par le couple thermo-électrique dans le magnétomètre.

J'ai pu déterminer un certain nombre de points placés entre 600° et 1200; mais, pour les points intermédiaires, j'ai pu les calculer par une remarque assez simple, c'est que pour des températures peu différentes en nommant I l'intensité du courant électrique déterminé à l'aide du magnétomètre et T la température correspondante, l'expression

$$3 \log T - 2 \log I$$

varie peu. Quand la différence devient plus grande, on peut considérer l'expression

$$3 \log T - 2 \log I = A - \frac{B}{T},$$

dans laquelle A et B sont deux constantes, comme exprimant les températures.

Entre les limites de température de 500 à 1200, les résultats des expériences n'ont pas différé de quelques degrés des nombres calculés par cette expression empirique dans laquelle $A = 2{,}5629718$ et $B = 29{,}47$, de sorte que cette expression est :

$$3 \log T - 2 \log I = 2{,}5629718 - \frac{29{,}47}{T}.$$

En réunissant les résultats des expériences de comparaison avec ceux qui ont été obtenus entre 0 et 358,50, on peut alors former le tableau suivant qui donne, pour le couple dont j'ai fait usage, les températures correspondantes aux indications du pyromètre thermo-électrique :

TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.	TEMPÉRATURE centigrade T.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique I.
°		°		°		°		°	
0	0	300	339,95	600	813,39	900	1466,39	1200	2236,48
10	8,99	310	350,59	610	832,94	910	1490,25	1210	2263,96
20	18,26	320	361,18	620	852,84	920	1514,30	1220	2291,56
30	27,79	330	371,72	630	872,80	930	1538,45	1230	2319,27
40	37,58	340	382,21	640	892,91	940	1562,72	1240	2347,09
50	47,65	350	392,66	650	913,17	950	1587,12	1250	2375,02
60	57,74	360	403,06	660	933,59	960	1611,65	1260	2403,05
70	67,56	370	415,10	670	954,15	970	1636,30	1270	2431,21
80	78,49	380	428,56	680	974,87	980	1661,07	1280	2459,47
90	89,14	390	442,72	690	995,73	990	1685,97	1290	2487,83
100	100,00	400	457,31	700	1016,76	1000	1711,00	1300	2516,30
110	110,99	410	472,50	710	1037,90	1010	1736,15	1310	2544,89
120	122,15	420	488,30	720	1059,20	1020	1761,41	1320	2573,58
130	133,49	430	504,81	730	1080,65	1030	1786,80	1330	2602,38
140	145,02	440	521,50	740	1102,24	1040	1812,31	1340	2631,28
150	156,72	450	538,37	750	1123,96	1050	1837,94	1350	2660,29
160	168,30	460	555,50	760	1145,84	1060	1863,69	1360	2689,41
170	179,99	470	572,81	770	1167,85	1070	1889,56	1370	2718,63
180	191,88	480	590,30	780	1190,00	1080	1915,55	1380	2747,96
190	203,88	490	607,97	790	1212,29	1090	1941,66	1390	2777,39
200	216,03	500	625,81	800	1242,22	1100	1967,88	1400	2806,93
210	228,11	510	643,82	810	1257,28	1110	1994,22		
220	240,32	520	662,00	820	1279,98	1120	2021,68		
230	252,65	530	680,35	830	1302,82	1130	2047,25		
240	265,10	540	698,86	840	1325,79	1140	2073,94		
250	277,67	550	717,56	850	1348,90	1150	2100,75		
260	289,95	560	736,24	860	1372,13	1160	2127,67		
270	302,32	570	755,40	870	1395,50	1170	2154,70		
280	314,78	580	774,57	880	1419,00	1180	2181,85		
290	327,32	590	793,88	890	1442,63	1190	2209,11		

Le tableau précédent se rapporte au platine et au palladium, dont j'ai fait usage; en employant d'autres fils métalliques, on aurait probablement d'autres valeurs. Mais une formule empirique de même forme pourrait s'appliquer, et à l'aide des points fixes que j'ai donnés, il serait facile, pour chaque pyromètre thermo-électrique, de faire une table des intensités correspondantes aux températures.

§ III. — Intensité de la lumière émise par les corps solides opaques rendus incandescents au milieu d'une enceinte dont tous les points sont a la même température.

La disposition de l'appareil représenté (*fig.* 4), employé précédemment, et qui permet de placer les corps dans le tube en porcelaine horizontal fixé au travers d'un fourneau, m'a permis d'étudier la lumière émise par des corps solides quand ils sont soumis à l'action de la chaleur.

D'après cette disposition, les corps dont on étudie le rayonnement sont placés au milieu d'une enceinte portée à une température plus ou moins élevée, et qui est à peu près constante au moment où l'on fait l'observation. A cet instant, l'on peut admettre que l'enceinte et le corps sont à la même température. Quelle est alors l'influence des parois lumineuses par incandescence de l'enceinte sur l'intensité de la lumière émise par le corps? Si l'on se borne au cas où les corps ne sont pas doués de pouvoir réflecteur régulier, et ne donnent que de la lumière diffusée, et que de plus l'enceinte ait à peu près même pouvoir émissif que le corps, on peut dire que le corps, émettant autant qu'il reçoit, l'intensité de la lumière qu'il émet doit être la même que si l'enceinte n'existait pas et que si le corps, étant isolé, était maintenu par une cause quelconque à une température constante et égale à celle de cette enceinte.

Il était nécessaire de vérifier par expérience s'il en est réellement ainsi. C'est ce qui a été fait en prenant pour source lumineuse les points de jonction des fils de platine et de palladium formant le couple thermo-électrique, en déterminant à chaque instant la température de ces points incandescents au moyen de l'intensité du courant thermo-électrique, et en plaçant ceux-ci successivement dans le tube en porcelaine échauffé, et dans la flamme d'un bec de gaz hydrogène mélangé d'air, flamme très-peu lumineuse. On verra plus loin que, pour les mêmes déviations, on a sensiblement la même intensité dans les deux cas, ou du moins les différences, si elles existent, ne sont pas appréciables, eu égard aux erreurs que peuvent présenter les expériences elles-mêmes. Ainsi la lumière émise par l'enceinte n'intervient pas dans

l'intensité de la lumière émise par le platine et par le palladium dont on étudie l'irradiation, lorsque l'enceinte et ces corps sont à la même température. On verra aussi plus loin, qu'en raison de ce fait, des corps de même pouvoir émissif et de forme différente sont lumineux de la même manière. Du reste, dans cette circonstance, le tube en porcelaine qui forme l'enceinte a sensiblement le même pouvoir émissif que le platine, la chaux, la magnésie et le charbon, dont on a étudié l'irradiation.

Examinons maintenant comment on a disposé l'appareil pour observer les effets de l'irradiation. Pour étudier les corps de nature différente, on a placé ces corps au milieu du tube en porcelaine A B (*fig.* 4), de façon qu'ils ne se touchent pas et qu'ils aient entre eux un intervalle tel que leur image puisse être vue isolément avec le photomètre qui sera décrit ci-après. On a aussi placé à côté d'eux les points de jonction du couple thermo-électrique. Afin d'éviter le refroidissement des corps placés au milieu du tube, l'extrémité A était fermée avec de la terre, et en même temps la longueur A B était telle que, A restant obscur, l'observateur, en regardant dans l'axe du tube, pouvait voir les objets lumineux placés en *a* ou S projetés sur un fond obscur A. Cette condition est indispensable pour la comparaison des effets lumineux des corps incandescents. L'extrémité B était fermée avec une lame de verre très-mince taillée circulairement et entrant à frottement à l'extrémité B dans le tube en porcelaine ou en terre. Dans cette position, cette lame de verre se conserve intacte, tandis que lorsque ses bords dépassent les bords des parois du tube, elle se brise. Cette plaque de verre permet donc de faire aisément les observations en évitant le refroidissement des corps lumineux par irradiation. Dans plusieurs expériences, on a placé dans le tube A B, qui avait 5 centimètres de diamètre extérieur, un second tube en terre ou en porcelaine de 15 à 20 millimètres; on peut alors opérer sans mettre en B de petites lames de verre. Un second écran FF', qui est une simple planche percée en O, et placée à 30 ou 40 centimètres du fourneau, isole l'observateur du fourneau et l'empêche d'être incommodé par le rayonnement qui en émane.

La limite relative à la température à laquelle les corps solides commencent à devenir lumineux, quand on est placé dans l'obscurité, est très-difficile à apprécier; si l'on opère par élévation

de température, les bords du tube en terre placés dans le fourneau rougissent avant les fils intérieurs dont on observe l'irradiation, et qui forment l'extrémité du couple thermo-électrique lui-même, mais une portion de la lumière émise se réfléchissant par diffusion sur les fils, ces derniers ne sont pas vus alors en vertu de leur action propre. Si l'on opère, au contraire, lorsque le fourneau est en voie de refroidissement, l'inverse a lieu, et l'on peut plus facilement saisir le décroissement de lumière; mais il est à peu près impossible de saisir le moment précis où cesse le pouvoir qu'a le corps d'émettre des rayons lumineux : tout ce que l'on peut dire, c'est que, si l'on est placé dans l'obscurité profonde, à 510° la lumière émise est excessivement faible; à 488° ou 490° on saisit encore des traces de lumière dont l'intensité est excessivement faible, mais que l'on peut distinguer, et à 460° il n'y a plus aucun effet. On peut donc, sans erreur bien grande, prendre un terme compris entre 480° et 490° pour celui où les corps solides commencent à émettre quelque trace de lumière dans l'obscurité par l'action de la chaleur, ou bien en nombre rond celui de 500°, qui a été admis généralement jusqu'ici pour la limite où les substances commencent à devenir visibles dans une enceinte faiblement éclairée, de façon que tout observateur puisse commencer à percevoir nettement les rayons lumineux émis, quoique encore très-sombres.

Ce qui précède suppose que les différents corps solides commencent à devenir lumineux par incandescence, à partir de la même limite; mais en est-il réellement ainsi?

Il est évident que les corps doivent commencer à émettre des rayons d'une longueur d'onde déterminée à une température fixe, la même pour tous. Mais comme ils ont des pouvoirs émissifs différents, on peut se demander s'ils deviendront visibles à partir de la même limite, alors qu'ils émettent des rayons de même réfrangibilité avec des intensités inégales. Ils ne seraient pas vus en même temps à partir de la même limite de température, si l'on comparait, par exemple, les gaz qui sont très-peu lumineux avec des corps solides qui le sont beaucoup; mais quand il s'agit des corps solides comparés entre eux, tels que ceux qui ont été cités plus haut, il est facile de voir que les différences dues à cette cause ne peuvent être appréciées expérimentalement. En effet, d'abord la différence entre leur pouvoir

émissif d'irradiation n'est pas bien grande, même si l'on compare le platine aux oxydes de cuivre et de fer; mais, d'un autre côté, d'après les expériences que j'ai faites et qui vont être indiquées plus loin, si l'on cherche, à partir de la limite de température T à laquelle tous les corps commencent à émettre des rayons dont la longueur d'onde correspond à celle qui est nécessaire pour qu'il y ait impression sur la rétine, quelles sont les intensités à $T+1$ et a $T+2°$, on trouve que ces intensités sont sensiblement comme 1 : 2, c'est-à-dire que, près de la limite dont il est question, une simple différence de 1° dans la température d'un même corps peut un peu plus que doubler l'intensité de la lumière émise. On sait également que l'œil peut saisir des différences entre les intensités lumineuses de deux corps voisins quand cette différence est de $\frac{1}{60}$, et même on peut aller au delà quand il s'agit de lumières peu intenses; or, comme on ne peut être certain de la température à 1° près dans les températures élevées, on voit que les corps solides opaques comparés entre eux doivent devenir sensiblement visibles à partir de la même limite, qui est, d'après ce qui précède, un peu inférieure à 500°.

Pour comparer les intensités lumineuses, j'ai fait usage du photomètre décrit dans mes précédents mémoires [1], lequel est fondé sur l'emploi de la double réfraction et consiste en une double lunette qui permet de comparer directement l'éclat de surfaces égales de deux sources lumineuses. J'y ai apporté plusieurs changements, et l'appareil modifié est représenté *fig.* 5 : au lieu de n'employer que deux prismes de Nicol, dont l'un est placé dans le tube objectif d'une des lunettes et l'autre près de l'oculaire, on met dans chaque tube objectif, A et B, deux prismes de Nicol, de sorte que l'oculaire O permet de saisir à la fois les rayons lumineux transmis dans chaque lunette, et de faire varier l'intensité de chaque image, l'oculaire restant fixe. Pour atteindre ce but, l'appareil se compose de deux petites lunettes APO, BPO de 40 centimètres de longueur sur 4 centimètres de diamètre, dont les axes sont placés à angle droit sur une moitié de leur longueur et qui ont le même oculaire O. Un prisme en

1. Voir *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, 1861, t. LXII, p. 15. Il a été construit par M. Jules Duboscq.

verre P, à angle droit, donne par réflexion totale, aux rayons qui pénètrent suivant B, une direction telle que l'observateur peut voir en même temps à l'aide de l'oculaire O deux images placées à côté l'une de l'autre, l'une formée par l'objectif A, l'autre par l'objectif B. L'appareil est monté de telle manière que le tube B peut être placé d'un côté ou de l'autre, de façon à viser la lumière servant de terme de comparaison à droite ou à gauche. Un système de deux prismes de Nicol ordinaires est placé dans l'axe de la lunette latérale B, et l'un d'eux est mobile, de façon que l'on peut donner à l'intensité lumineuse de l'image, vue par cette lunette, la valeur que l'on veut, depuis l'intensité maximum totale de la lampe correspondant au parallélisme des sections principales des prismes de Nicol jusqu'à l'extinction presque complète.

Un autre système de deux prismes de Nicol, dont les faces terminales sont taillées perpendiculairement à l'axe, est placé dans l'axe de la partie A de la lunette droite, et l'un d'eux est mobile de façon à pouvoir décrire un angle variable de 0 à 90°, que l'on peut mesurer sur un cercle divisé CC; on peut aisément lire la minute sur le cercle.

On voit donc qu'une fois l'intensité et la couleur de la lumière normale vue en B, ayant le degré voulu, il n'y a plus qu'à juxtaposer l'image de cette lumière avec celle de la source que l'on étudie vue par la lunette A, et cela peut être fait à l'aide d'un léger mouvement donné au pied de l'appareil.

Dans les expériences dont il s'agit ici, comme on compare la lumière émise par un fil de platine, par une lame de métal, ou bien par un fragment d'un corps placé au milieu du tube, à la lumière émise par une lampe placée dans une espèce de lanterne munie d'un écran à ouverture rectiligne dont la largeur est variable, on donne à cette dernière ouverture la même dimension angulaire que celle du fil ou de la lame de métal incandescent soumise à l'expérience, de façon à avoir deux images lumineuses de même étendue juxtaposées et vues à la fois par l'oculaire O du photomètre. Il faut remarquer, comme on l'a déjà dit, que les corps incandescents, étant placés au milieu d'un tube en terre ou en porcelaine qui traverse le fourneau de part en part, sont vus isolément et sans que des rayons lumineux émanés dans le voisinage viennent modifier les effets observés. Quant à la lu-

mière qui proviendrait des gaz portés à l'incandescence et qui environnent le fil de platine, elle est tellement faible, par rapport à la lumière émise par le platine, qu'on peut la négliger.

La méthode expérimentale dont on a fait usage est très-simple : on examine la lumière de la lampe, prise pour unité, par la lunette latérale du photomètre, et, à l'aide de verres colorés et des prismes de Nicol de cette lunette, on lui donne une faible intensité qui doit rester constante pendant toute la durée d'une même observation. On vise alors le corps incandescent au moyen de la lunette droite A du photomètre, et, à l'aide d'un verre coloré placé devant l'objectif, on donne à cette lumière la même couleur qu'à celle de la lampe. Cela fait, au moyen de l'alidade *a* qui met en mouvement le prisme de Nicol dont les faces terminales sont taillées perpendiculairement à l'axe de la lunette, on fait varier l'angle des sections principales des deux prismes placés dans le corps de cette lunette droite, et dès lors on fait varier l'intensité de la lumière émise par le corps incandescent suivant la loi connue du carré du cosinus. On peut donc amener cette lumière à avoir la même intensité que celle de la lumière de la lampe. On voit qu'à l'aide de ce moyen, non-seulement on peut comparer l'intensité des rayons d'une réfrangibilité déterminée, émis par les corps incandescents, mais encore quand les lumières à comparer sont peu intenses, leur couleur étant la même, cette comparaison peut avoir lieu avec autant d'exactitude que par la méthode des ombres. De plus, les intensités restant les mêmes pendant toute la durée des opérations d'une même observation, la limite de l'erreur que l'on peut commettre reste la même dans chaque détermination. Cette limite est telle que, lorsque les prismes de Nicol de la lunette droite ont de 40° à 50° entre les positions de leurs sections principales, un mouvement de 5 minutes de degré dans un sens ou dans l'autre fait apparaître une différence dans l'éclat des lumières que l'on compare. Si l'angle devient plus grand, alors la limite d'erreur est moindre.

On doit donc, comme on le voit, ramener toujours l'intensité de la lumière que l'on étudie à avoir une valeur constante. Ce résultat exige que la lampe Çarcel placée dans la lanterne ait une intensité constante; quand elle est bien montée, on peut y arriver avec exactitude pendant au moins une heure; mais d'un

jour à l'autre, il peut y avoir de faibles différences, comme on le verra plus loin. Il est même facile de reconnaître, ainsi qu'on l'avait déjà dit dans le mémoire cité plus haut [1], que l'on peut avoir avec le photomètre la comparaison des intensités lumineuses de deux sources, abstraction faite des quantités de lumière absorbées par les verres des lunettes. Ainsi, dans le cas dont il s'agit ici, on peut avoir le rapport immédiat entre l'intensité des rayons rouges d'une lampe L_r et celle d'une source R_r. Visons la source I_r avec la lunette droite et L_r avec la lunette de côte et tournons le prisme mobile de la lunette droite avec l'alidade *a* jusqu'à ce que l'égalité lumineuse soit établie. Si on appelle *a* la fraction de lumière qui passe au travers de la lunette droite et des verres colorés quand les prismes de Nicol sont parallèles, α étant l'angle compté depuis la position du croisement, et *b* la proportion de lumière qui traverse la lunette placée de côté, on aura

$$a\, I_r \sin.^2 \alpha = b\, L_r.$$

Si on change de place les sources I et L en visant L avec la lunette droite et I avec la lunette de côté, en appelant β l'angle des prismes de Nicol nécessaire pour l'égalité lumineuse, on aura

$$a\, L_r \sin.^2 \beta = b\, I_r.$$

Ces deux équations étant divisées termes à termes, il vient, en réduisant :

$$\frac{I_r}{L_r} = \frac{\sin.\beta}{\sin.\alpha};$$

ainsi, ce rapport est indépendant des valeurs *a* et *b*. Mais, dans la plupart des expériences, cette évaluation n'est pas nécessaire, et il suffit de comparer les lumières que l'on étudie à la même source lumineuse vue par le même côté du photomètre.

Si l'on cherche à étudier l'émission lumineuse d'un fil de platine de $\frac{1}{2}$ à 1 millimètre de diamètre fixé verticalement au milieu du tube en porcelaine ou en terre AB (*fig.* 4), par un des petits crochets *a*, on reconnaît aisément que la couleur de la lumière émise change rapidement depuis le rouge sombre près de 500°, jusqu'à la teinte orangé-clair vers 1200°. Au-dessous de 700° à 750°, on ne peut guère évaluer avec le photomètre l'intensité de

1. *Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. LXII, p. 32.

la lumière; au delà elle devient de plus en plus jaune, et après la fusion de l'or elle devient plus blanche. Mais, dans les limites de 750° à 1000°, on peut, en plaçant devant l'ouverture éclairée par la lampe un verre jaune-clair, comparer à cette lumière jaune celle du platine incandescent, quoique ce dernier émette une lumière un peu plus rougeâtre vers 800°, et un peu plus blanche quand on atteint 1000°. Ainsi, entre certaines limites, on pourrait à la rigueur comparer en totalité les intensités de la lumière émise par les corps incandescents. Si l'on veut comparer entre eux les intensités des rayons correspondant à une réfrangibilité donnée, comme le rouge ou le vert, et qui seraient émis à diverses températures, ainsi qu'on l'a fait dans la presque totalité des expériences, il suffit de mettre des écrans de cette couleur, non-seulement devant la lampe, mais encore devant l'ouverture O (*fig.* 4).

On a commencé par comparer les intensités de la lumière émise par plusieurs corps placés à côté les uns des autres sur un même plan dans l'intérieur du tube en porcelaine AB (*fig.* 4), perpendiculairement à la longueur du tube, et espacés l'un et l'autre de façon que, à l'aide de la lunette du photomètre, on pût les étudier séparément. On a placé ainsi : 1° un fil de platine de $\frac{1}{2}$ millimètre de diamètre; 2° une lame plane en platine de 5 millimètres de largeur et dont la surface était mate; 3° une lame de platine recourbée en forme de demi-cylindre à axe vertical, tournant sa concavité vers l'observateur; 4° enfin une mèche d'asbeste de 3 à 4 millimètres de largeur. Les intensités lumineuses ont été sensiblement les mêmes, quand la température a été partout uniforme, et cependant la lumière émise par le fond de la partie courbe de la lame de platine ne pouvait être influencée par les parois du tube en porcelaine.

On pourrait supposer que les corps avec lesquels j'ai agi fussent doués d'un pouvoir réfléchissant assez fort, et que la lumière émise par eux contînt une partie de celle de l'enceinte réfléchie sur leur surface. Mais il est aisé de montrer que cette supposition ne saurait être admise, le platine non poli présentant comme le kaolin, le charbon, la magnésie, sensiblement le même pouvoir émissif au rouge.

Il ne faut pas croire que le platine se comporte lors de l'émission de la lumière au rouge, comme lorsqu'il émet la chaleur à

basse température, et tout le monde connaît l'énorme pouvoir d'irradiation de ce métal, puisque dans un jet de gaz hydrogène enflammé, il devient éblouissant. Ensuite, on doit observer que lorsque le platine en fil ou en lame est porté dans un tube en porcelaine à très-haute température, fût-il même poli avant l'opération, sa surface devient rapidement mate et cesse d'être réfléchissante.

Pour montrer que ce corps se trouve dans les mêmes conditions de pouvoir émissif que l'enceinte qui l'environne et qui est le tube de porcelaine, on a placé à côté l'un de l'autre parallèlement, dans le gros tube en porcelaine AB, deux tubes plus petits: l'un en porcelaine, l'autre en platine; au milieu du tube en porcelaine on a mis un fragment de kaolin, au milieu de celui en platine on a mis une lame de platine; puis on a porté simultanément les deux tubes et les corps au rouge. On voit que le kaolin était entouré d'une enceinte en porcelaine et le platine de platine dans ces conditions; au rouge blanc avec le photomètre, on n'a pu constater aucune différence appréciable entre les intensités lumineuses des deux corps. Ces deux substances, comme leurs enceintes, ont donc sensiblement le même pouvoir émissif.

Enfin, la meilleure démonstration de ce fait, démonstration qui suffit seule pour les expériences faites ici, consiste à placer le couple platine-palladium successivement dans le tube, puis dans la flamme d'un bec de gaz, comme on l'a dit plus haut, et d'évaluer l'intensité de la lumière rouge émise en plaçant des verres rouges devant les deux oculaires du photomètre; on a eu ainsi :

RAYONS ROUGES. Photomètre n° 2.	ANGLE α observé depuis le croisement des prismes du photomètre.	LOGARITHME de l'intensité lumineuse I.	INTENSITÉ lumineuse I.		MAGNÉTOMÈTRE.		
			observée.	calculée.	Déviation observée.	Déviation rapportée à celle qui a lieu à 100°.	Température.
Les fils incandescents étant dans le tube en porcelaine.	Fusion de l'arg.				234	1504,24	916°0
	85°40'	0,0024866	1,01	1,13	230	1478,44	905,0
	44.44	0,3050914	2,02	2,15	252	1619,86	963,3
	31.48	0,5605400	3,64	3,59	269	1729,13	1007,2
	26.40	0,6958958	4,96	4,96	280	1799,84	1035,0
	22.55	0,8192262	6,59	5,57	284	1825,55	1045,3
Les fils incandescents étant placés dans la flamme d'un bec de gaz d'éclairage mélangé d'air.	85.40	0,0024866	1,01	1,13	230	1478,44	905,0
	71.25	0,0465106	1,11	1,27	235	1510,58	918,3
	56.40	0,1577868	1,44	1,49	240	1542,72	931,8
	34.55	0,4846264	3,05	2,74	260	1671,28	984,1
	32.40	0,5356136	3,43	3,68	270	1735,58	1009,5
	26.30	0,7009452	5,02	4,96	280	1799,84	1035,0

Les intensités lumineuses calculées ont été déduites de la formule qui sera donnée plus loin :

$$\log.\left(\frac{I}{a}+1\right)=0,005014\,(T-500),$$

en faisant

$$\log.\frac{1}{a}=\bar{1},9857893.$$

On voit que, dans ces deux séries d'expériences, les valeurs des intensités lumineuses calculées sont tantôt supérieures, tantôt inférieures aux valeurs observées, de façon qu'on peut admettre à peu près la même intensité, à température égale, dans l'un et l'autre cas. Ces différences, si elles existent, ne sont donc pas appréciables par ce moyen d'expérimentation. Ainsi l'on observe donc sensiblement la même intensité lumineuse pour le platine incandescent, quand il est placé dans une enveloppe également échauffée et ayant sensiblement même pouvoir émissif que lorsqu'il rayonne librement dans l'air, et comme on l'a admis plus haut. Ce point est important à noter; car, ainsi qu'on l'a dit, il permet de déduire la température de l'effet lumineux observé dans le fourneau.

On a placé alors dans le tube AB, situé au milieu du fourneau, différents corps solides, et l'on a étudié leur intensité lumineuse depuis le moment où ils commencent à devenir tous lumineux, c'est-à-dire depuis 480° à 490° jusqu'aux températures les plus élevées que le fourneau peut donner. Dans ces conditions, le platine et l'asbeste, ainsi que le charbon de cornue, la chaux et la magnésie, ont donné sensiblement les mêmes effets au photomètre; il en a été de même de l'or jusqu'à sa fusion. Quant aux métaux oxydables, comme le cuivre et le fer, la couche d'oxyde qui les enveloppe et qui se forme à leur surface au moment de leur élévation de température dans le tube en porcelaine, a sans doute un pouvoir d'irradiation moindre que le platine à température égale, car les images qu'ils présentent sont moins lumineuses que celles données par ce dernier métal. Comme on le verra plus loin, les pouvoirs émissifs du platine et du cuivre sont différents depuis 500° à 600° jusqu'au point de fusion du cuivre, et le cuivre a une irradiation moins forte. Mais, quand la température s'élève et s'approche de celle de la fusion du cuivre rouge, cette différence devient à peine sensible, et le cuivre paraît à peu près aussi lumineux que le platine. Le cuivre et le fer placés dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène conduisent aussi à la même conclusion. L'argent a présenté au contraire, dans quelques expériences, jusqu'à sa fusion, une lumière un peu plus blanche et un peu plus vive que le platine; mais cette différence n'a pu être évaluée au photomètre; tient-elle à un pouvoir d'irradiation un peu plus grand du fil d'argent ou à la réflexion sur sa surface d'une certaine quantité de lumière émanée de quelques points de l'enceinte qui pouvaient avoir à un moment donné une température un peu plus élevée que celle du fil d'argent? c'est ce que je n'ai pu décider jusqu'ici.

En somme, pour un certain nombre de corps opaques, comme les métaux inoxydables (platine-palladium dont la surface est mate), le charbon, l'asbeste, la chaux, on peut admettre un pouvoir d'irradiation qui est sensiblement le même. Pour d'autres, comme on l'a vu, il est différent.

Les expériences suivantes ont été faites en prenant pour corps lumineux la réunion des deux fils de platine et de palladium servant de couple thermo-électrique. On a déterminé à chaque instant la température à l'aide du courant électrique donné par

ce couple, et l'intensité lumineuse des rayons rouges vus à travers un verre rouge coloré par le protoxyde de cuivre. Il passe dans ce verre la partie du spectre comprise entre la raie obscure A de Fraünhofer et un intervalle compris entre C et D à un tiers environ de la distance CD, le maximum d'action correspondant à un espace compris entre B et C. On aurait pu employer la réunion d'un verre rouge avec un verre bleu de cobalt qui donne une partie rouge moins orangée que la précédente; mais un écran obtenu ainsi est trop sombre pour les observations.

On a opéré la première fois en chargeant le fourneau avec du coke et ensuite en employant le charbon de cornue, ce dernier combustible permettant d'atteindre une température bien plus élevée. Les observations ont été faites pendant que le fourneau présentait une augmentation graduelle de température, au moment du maximum, et ensuite pendant la période du refroidissement. On trouve aisément, en raison du grand nombre d'observations faites, quelles sont les indications du magnétomètre, et par conséquent les intensités du courant thermo-électrique qui sont relatives à une intensité donnée, au moment où la température est ascendante, et quand elle est descendante. En général, on trouve pendant l'ascension une température un peu plus élevée que pendant la période descendante, quoique d'une faible quantité; cet effet provient peut-être de ce que les parois du tube en terre sont dans le premier cas à une température un peu plus élevée, et dans le second, moins élevée que la partie centrale, et de ce que la température des fils métalliques qui touchent aux parois du tube de terre se communique par conductibilité jusqu'à leur point de jonction. On prend alors la moyenne des deux déterminations. C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres qui sont renfermés dans les tableaux suivants.

On doit remarquer aussi que les angles observés sur le photomètre sont les angles mesurés depuis le point de croisement des sections principales des prismes de Nicol et non depuis leur parallélisme; comme on atténue toujours l'intensité de la lumière I qui vient du corps incandescent pour la rendre constante et égale à celle de la source prise pour unité, si l'on désigne par α l'angle précédemment indiqué, I. $\sin.^2 \alpha$ sera une constante C dans chaque série d'expériences, de sorte que l'intensité lumineuse

dans chaque cas sera proportionnelle à $\frac{C}{\sin.^2\alpha}$; si l'on passe aux logarithmes et que le rayon des tables soit R, on pourra prendre R pour constante C, et le rapport précédent deviendra $\frac{R}{\sin^2\alpha}$; on aura donc $\log. I = \log. R - 2 \log. \sin. \alpha$. Les logarithmes des intensités lumineuses sont obtenus ainsi dans les tableaux suivants, et l'intensité lumineuse, quand les sections principales des prismes sont parallèles, est alors prise pour unité. Quant aux températures, on les déduit chaque fois de l'intensité du courant thermo-électrique et du tableau de la page 629; on prend comme termes de comparaison les points de fusion de fils d'or ou d'argent qui ont été pris dans chaque détermination expérimentale, de sorte que ces points de fusion déterminés sont 1037° et 916°.

RAYONS ROUGES.	ANGLE α observé depuis le croisement des prismes du photomètre.	LOGARITHME de I.	INTENSITÉ lumineuse I observée.	INTENSITÉ lumineuse I calculée.	MAGNÉTOMÈTRE. Déviation observée.	MAGNÉTOMÈTRE. Déviation rapportée à celle qui a lieu à 100°.	MAGNÉTOMÈTRE. Température centigrade.
12 décembre 1861.	Fusion de l'arg.	»	»	»	261,0	1504,24	916,0
	90°?	0?	1	1,08	255,5	1472,55	902,6
	40.00'	0,3838650	2,42	2,40	284,4	1639,00	970,6
	30.25	0,5912106	3,90	4,04	303,9	1751,38	1016,0
	20.35	0,9079780	8,09	8,18	330,9	1906,98	1076,7
	17.30	1,0437164	11,06	11,86	345,5	1991,12	1108,9
	12.20	1,3408024	21,92	20,91	368,1	2121,36	1157,6
	10.35	1,4719452	29,65	27,21	478,8	2183,03	1180,4
	8.25	1,6690012	46,68	44,39	399,0	2299,44	1222,5
21 décembre 1861.	Fusion de l'arg.	»	»	»	258,5	1504,24	916,0
	43.30	0,3243756	2,11	2,04	288,8	1680,53	987,6
	33.15	0,5219742	3,33	3,19	305,5	1777,71	1026,4
	27.30	0,6711888	4,69	4,60	319,4	1858,59	1058,0
	21.15	0,8815324	7,61	7,83	340	1978,46	1103,6
	16.10	1,1105606	12,90	14,05	363	2112,30	1153,9
	13.30	1,2632694	18,35	18,09	373,2	2171,65	1175,5
Id......	27.25	0,6736200	4,72	4,70	320	1862,08	1058,0
	19.45	0,9423806	8,76	8,13	341,3	1986,03	1106,7
	18.00	1,0200352	10,47	10,67	352,0	2048,29	1130,4
	13.10	1,2849520	19,27	20,48	378,0	2199,58	1186,5
	12.15	1,3466006	22,21	22,57	382,0	2222,86	1195,0
	10.30	1,4787340	30,11	29,59	393,0	2286,87	1219,0
24 janvier 1862....	Fusion de l'arg.	»	»	»	255,0	1504,24	916,0
	47.20	0,2670602	1,85	1,83	280,0	1652,00	976,0
	37.25	0,4327546	2,71	2,86	297,0	1752,30	1016,4
	26.15	0,7111548	5,14	3,63	307,0 F. de l'or	1805,11	1037,0
	19.32	0,9515868	8,95	7,04	331	1952,90	1094,3
	14.52	1,1815864	15,19	14,46	359	2118,10	1156,2
	11.40	1,3883622	24,46	24,49	380	2242,00	1202,2

On reconnaît à l'inspection de ce tableau avec quelle rapidité croît l'intensité lumineuse à mesure que la température s'élève. Il est assez difficile, en raison des erreurs que peuvent donner les méthodes photométriques et thermométriques employées, de reconnaître la loi en vertu de laquelle ces variations ont lieu, en supposant que cette loi soit simple; cependant on peut s'assurer que les différences entre les logarithmes des intensités lumi-

neuses sont sensiblement proportionnelles aux différences de température, ce qui montre qu'une formule exponentielle de la forme

$$I = a\left(e^{b(T-\theta)} - 1\right)$$

dans laquelle I est l'intensité lumineuse, T la température du corps, θ la température à laquelle les rayons lumineux de la réfrangibilité que l'on étudie commencent à être émis, e la base des logarithmes adoptés, a et b des coefficients constants pour une même série d'expériences, peut sensiblement représenter les observations entre les limites où l'on a opéré. Cette formule, du reste, est analogue à celle $V = m\overset{\theta}{a}(a^t - 1)$ donnée par Dulong et Petit, et qui règle la vitesse de refroidissement des corps échauffés placés au milieu d'une enceinte vide.

Si l'on prend pour base des logarithmes $e = 10$, on trouve que la valeur de b est sensiblement la même dans les quatre expériences; on a pour b :

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}005102 \\ 0{,}004997 \\ 0{,}005001 \\ 0{,}004957 \end{array}\right\} \text{dont la moyenne est } 0{,}005014.$$

Quant à la valeur de a, elle dépend de l'intensité de la lumière prise pour unité, à laquelle on compare la lumière émise par les corps incandescents et peut varier d'un jour à l'autre.

Puisqu'il s'agit de rayons rouges, on a vu précédemment que la température θ, à laquelle l'émission commence, est voisine de 480° ou 490°, et s'il s'agissait des rayons lumineux rouges les moins réfrangibles, on devrait admettre pour θ cette valeur; mais, comme on a fait usage de verres rouges laissant passer un peu d'orangé, on peut sensiblement prendre pour θ la température de 500°. Il est facile de voir, du reste, que la formule servant à calculer I serait très-peu différente dans les deux cas et que les différences porteraient seulement sur les logarithmes du coefficient $\frac{1}{a}$. J'ai admis cette dernière valeur de 500° pour θ, et d'après cette supposition on a pour moyenne :

	$\text{Log}\ \frac{1}{a}$	Valeur de a.
1re expérience. . . .	$\overline{1}$,9787217	0,0105020
2e —	$\overline{2}$,1289660	0,0074380
3e —	$\overline{2}$,1320528	0,0073781
4e —	$\overline{2}$,1320000	0,0073791

Il est facile, d'après l'expression ci-dessus, connaissant b et a, d'avoir I. C'est ainsi qu'ont été obtenues par le calcul les valeurs de T placées à côté des déterminations expérimentales. Les différences entre les valeurs calculées et observées sont tantôt dans un sens, tantôt dans un autre.

Ce ne sont pas seulement les rayons rouges qui donnent lieu à un accroissement d'intensité lumineuse avec la température, lequel paraît suivre une expression exponentielle de la forme indiquée plus haut. On a opéré dans les deux séries d'expériences suivantes avec des verres verts et des verres bleus qui ne laissent passer, les premiers que les rayons verts et le commencement du bleu ; les seconds, toute la partie la plus réfrangible du spectre. On n'a pas des rayons d'une seule réfrangibilité comme avec les verres rouges, mais il ne m'a pas été possible jusqu'ici, vu la faible intensité de la lumière émise, d'opérer sur l'image du fil de platine réfractée au travers d'un prisme ; on peut dire seulement que les premiers verres ne laissent passer ni rouge ni orangé, et que les seconds donnent le bleu sans trace de rouge.

	PHOTOMÈTRE.			MAGNÉTOMÈTRE.		
	ANGLE α depuis le croisement des prismes de Nicol.	LOGARITHME de I.	INTENSITÉ lumineuse I.	Déviation observée.	Déviation par rapport à celle qui a lieu à 100°.	Température.
	Fusion de l'arg.		»	256,0	1504,24	916°0
	50°40'	0,2231112	1,72	274,0	1610,02	959,3
	30.55	0,5784274	3,79	301,2	1769,85	1023,3
30 déc. 1861.	22. 5	0,8497288	7,08	315,8	1855,64	1056,8
	15.35	1.1416598	13,86	337,4	1982,56	1105,3
LUMIÈRE VERTE.	11.35	1,3945030	24,80	355,5	2088,92	1145,6
	8. 2	1,7093014	51,20	393,5	2312,21	1227,5
	5.10	2,0910018	123,32	418,0	2456,17	1278,8
	4.25	2,2269164	168,62	433,0	2544,31	1310,0
	Fusion de l'arg.		»	253.9	1504,24	916,0
	90?	0	1	320,0	1895,68	1072,3
	66.20	0,0763074	1,19	336,0	1990,46	1108,6
	53 00	0,1953028	1,57	341,3	2021,86	1120,1
	47.30	0,2647382	1,84	347,0	2055,63	1133,1
	35.25	0,4738658	2,98	364,8	2161,08	1172,3
4 janvier 1862.	30.37	0,5858532	3,85	372,5	2206,69	1189,1
	26.22	0,7047562	5,07	381,5	2260,00	1208,6
LUMIÈRE BLEUE.	23.20	0,8044346	6,37	392,0	2322,21	1231,1
	19.55	0,9353754	8,62	399,0	2363,68	1245.9
	16.17	1,1040504	12,71	415,0	2458,46	1279,7
	12.35	1,3236376	21,07	433,6	2568,65	1318,3
	10.15	1,4994356	31,58	453,0	2683,57	1358,0
	9	1,6113352	40,86	456,0	2701,35	1364,1

On voit, d'après ces tableaux, que, malgré des irrégularités plus grandes qu'avec les rayons rouges, les différences entre les logarithmes des intensités lumineuses sont sensiblement proportionnelles aux différences des températures des valeurs calculées. Les rapports qui donnent la valeur b sont en moyenne :

Pour les rayons verts. 0,00591
Pour les rayons bleus. 0,00715

D'après cela, une formule analogue à la formule[1] donnerait les

1. On admet pour les longueurs d'onde les nombres suivants :

	Millionièmes de millimètres.		Millionièmes de millimètres.
Rouge extrême.	750	Raie E.	526
Raie B.	688	— F.	484
— C.	656	— G.	429
— D.	589	— H.	393

intensités lumineuses dans les deux séries d'expériences précédentes ; mais il faudrait prendre alors pour θ un nombre un peu supérieur à 500°, car ce n'est qu'après cette température que les corps incandescents commencent à émettre des rayons d'une réfrangibilité plus grande que le rouge.

On peut reconnaître que la valeur du rapport b augmente avec la réfrangibilité; il est vrai qu'il faudrait un plus grand nombre d'observations pour avoir les valeurs exactes relatives aux différents rayons lumineux à l'aide desquels on a opéré; mais si l'on admet les valeurs précédentes, et que l'on remarque que les rayons lumineux ne sont pas simples; si l'on cherche en outre quels sont les rayons moyens émis par les verres rouges, verts et bleus, les premiers verres donnant passage aux rayons lumineux compris entre les raies B et C du spectre, les seconds la partie de l'image prismatique voisine de E, et les verres bleus celle comprise entre F et G, on aurait :

TEINTE DES RAYONS qui traversent les verres colorés.	VALEUR DE b.	LONGUEUR D'ONDE λ.	PRODUIT $b\lambda$.
Rouges	0,00501	670	3,357
Verts..............	0,00591	526	3,109
Bleus..	0,00715	460	3,289

C'est-à-dire que le produit $b\lambda$ serait peu différent, ce qui montrerait, si des expériences ultérieures viennent confirmer ce qui précède, que les valeurs de b seraient sensiblement en raison inverse de λ.

Mais doit-on admettre cette conclusion, ou bien les différences que l'on observe entre les valeurs de b ne proviennent-elles pas d'une autre cause et surtout de ce que l'on a admis que a était constant? Si le pouvoir émissif des corps varie non-seulement pour les rayons de diverses couleurs, mais encore avec la température, la valeur de b pourrait rester constante, et alors c'est l'autre quantité a qui varierait.

En effet, si l'on compare les valeurs de ces coefficients constants

à celles du coefficient a qui règle la vitesse du refroidissement dans le vide dans la formule

$$V = ma^{\theta}(a^{t} - 1),$$

on trouve, d'après Dulong et Petit,

$$a = 1,0077.$$

En donnant la même forme à la formule de l'émission lumineuse des rayons rouges moyens, on aurait

$$I = A(10^{b(T-\theta)} - 1),$$

et comme $b = 0,00501$, en simplifiant il viendrait

$$I = A(1,01160^{(T-\theta)} - 1),$$

c'est-à-dire que le coefficient qu'il faut élever à la puissance $T - \theta$ pour avoir l'intensité lumineuse du rouge moyen est un peu supérieur au coefficient trouvé par Dulong et Petit pour exprimer la vitesse de refroidissement des corps.

Pour les rayons verts, la constante serait. . . . 1,01371
Pour les rayons bleus. 1,01660

Si, dans le refroidissement des corps au milieu d'une enceinte absolument vide, le coefficient a est une constante absolue, comme Dulong et Petit l'ont supposé, alors, comme on vient de le voir, les valeurs trouvées pour la lumière seraient un peu supérieures. Mais les expériences calorifiques n'ayant pas dépassé 240°, on peut se demander si, à des températures plus élevées, cette constante ne subirait pas des changements. Cela est probable, et la valeur de a pour la chaleur dépendant de la qualité des rayons émis, à des températures très-élevées elle arriverait alors à être comprise entre les limites que l'on a trouvées pour les rayons rouges.

Il est permis de supposer, vu l'identité d'origine de la chaleur et de la lumière, ainsi que des lois qui règlent la marche des rayons lumineux et calorifiques, que la loi d'émission est la même; mais il faudrait pouvoir tenir compte des changements qui ont lieu dans les différentes conditions physiques des corps au moment de cette émission. Ces recherches n'ayant donné que les changements observés dans l'intensité lumineuse, on doit se borner actuellement à considérer les formules citées plus haut

comme représentant empiriquement et d'une manière suffisamment exacte les résultats des expériences.

S'il est possible de comparer les intensités de la lumière émise à différentes températures par un corps incandescent, alors que l'on ne s'attache qu'aux rayons de même réfrangibilité, on ne peut plus effectuer cette comparaison quand on veut déterminer la quantité totale de lumière émise, car cette lumière change de nuance à mesure que la température s'élève. Entre 500° et 550°, le corps incandescent est rouge très-sombre, puis aux rayons rouges s'ajoutent des rayons orangés et jaunes quand la température augmente; vers 916°, à la fusion de l'argent, la teinte est jaunâtre et elle devient plus blanche près de la fusion de l'or. Cependant, entre certaines limites, de 800° à 1100°, en mettant un verre jaune très-clair devant la lampe qui sert de source lumineuse de comparaison, on peut comparer jusqu'à un certain point les intensités lumineuses du platine incandescent placé au milieu du tube en terre ou en porcelaine échauffé; les résultats obtenus laissent toujours de l'indécision en raison du changement de nuance des rayons émis, mais néanmoins j'en citerai quelques-uns pour montrer que depuis le rouge naissant, l'intensité lumineuse croît beaucoup plus vite que lorsqu'on opère à l'aide des rayons d'une seule réfrangibilité, surtout dans les environs de 500°.

Les résultats suivants n'ont pas été obtenus avec le photomètre disposé ainsi qu'on l'a dit plus haut; on a fait varier l'intensité lumineuse de la lampe au moyen de prismes mobiles de Nicol, et l'on a reçu en totalité, dans l'autre lunette, la lumière émise par le corps incandescent. Dans ce cas, le plus petit angle mesuré sur le cercle divisé correspond à la plus faible intensité lumineuse, et l'angle de 90° au maximum que peut comporter l'appareil. On a opéré dans chaque cas à mesure que la température du fourneau s'élevait et lorsqu'elle descendait, puis on a pris la moyenne des températures pour des déviations égales dans le photomètre :

	PHOTOMÈTRE.			MAGNÉTOMÈTRE.		
	Angle mesuré sur le photomètre.	Log. I ou logarithme de l'intensité lumineuse.	Intensité lumineuse I.	Déviation observée.	Déviation par rapport à celle qui a lieu à 100°.	Température.
Expérience du 26 mai 1861. (Comparaison de toute la lumière émise par une lame de platine incandescente.) Verre jaune clair devant le photomètre. Résultats moyens entre les observations faites pendant l'élévation et pendant l'abaissement de la température.	1°25'	0,7862016	6,11	161,84	1112,46	744,7
	5.15	1,9228576	82,72	212,60	1376,85	862,0
	16.50	2,9235632	838,62	255,05	1657,13	978,4
	35.15	3,5225702	3331,00	290,32	1881,27	1066,7
	50.50	3,7789530	6011,10	316,64	2051,95	1131,6
	90	4	10000	326,62	2116,50	1155,6
Expérience du 30 mai 1862. (Idem.)	1.53	1,0282613	10,67	176,27	1142,23	758,4
	4.41	1,8224840	66,45	206,92	1340,84	846,6
	8.54	2,3798974	239,83	235,93	1528,83	926,0
	22.06	3,1511304	1416,20	270,80	1754,78	1017,5
	35.08	3,5198817	3310,40	295,23	1913,09	1079,2

Les rapports entre les différences des logarithmes des intensités lumineuses et les différences des températures sont plus variables que dans les expériences faites antérieurement avec des rayons homogènes. Il est facile d'en comprendre le motif : comme à partir de 500° des rayons de différentes réfrangibilités s'ajoutent à mesure que la température s'élève, si pour chaque réfrangibilité la loi d'émission indiquée plus haut a lieu, l'intensité lumineuse totale, qui résulte de la réunion de tous les rayons, doit augmenter d'abord très-vite à mesure qu'il s'ajoute plus de rayons, et ensuite plus lentement.

Une formule de la forme

$$I = a\left(e^{f(T-500)} - 1\right)$$

doit donc représenter l'intensité lumineuse, $f(T-500)$ étant relatif aux rayons de toute réfrangibilité qui peuvent être émis.

On a vu qu'avec des rayons simples on avait sensiblement

$f(T-500) = b(T-500)$. On pourrait donner plusieurs termes à cette fonction; si l'on se borne au premier terme, on a entre 800° et 1100° des valeurs très-peu différentes des nombres observés; en admettant cette même formule avec $b = 0{,}00764$.

On trouverait, en moyenne, pour les deux expériences précédentes :

	Valeur de log. $\frac{1}{a}$	Valeur de a.
1re expérience (26 mai). . .	0,9188783	0,120537
2e — (30 mai). . .	0,8847633	0,130388

En cherchant donc quelle est la quantité totale de lumière émise par un corps incandescent aux différentes températures comparées entre 500 et 1200° et représentant par 1 celle qui serait émise lors de la fusion d'argent à 916°, on aurait les nombres suivants entre 500 et 1200° :

Température.	Intensité totale de la lumière émise.
500°	0
600.	0,0032
700.	0,0217
800.	0,1291
900.	0,7528
916 (fusion de l'argent)	1
1000.	4,3748
1037 (fusion de l'or)	8,3887
1100.	25,4106
1157 (fusion du cuivre).	69,2649
1200.	146,9205

Si l'on admet que la loi indiquée plus haut se continue au delà, on aurait :

à 1500. . . . . 28,900. . . .
à 2000. . . . . 191,000,000. . .

Mais il est probable qu'au delà de 1200° l'intensité lumineuse ne croît plus suivant la même loi.

D'après ce tableau, on voit que si l'on représente par l'unité l'intensité de la lumière émise au moment de la fusion de l'argent par un corps tel que le platine ou un fragment de magnésie placé à côté, à 600° il n'y a environ que les 3 millièmes de cette intensité lumineuse; à 700° les 2 centièmes; à 800° le $\frac{1}{8}$ environ, et à 900° les $\frac{3}{4}$. Lors de la fusion de l'or l'intensité lumineuse par irradia-

tion serait plus de 8 fois plus forte que lors de la fusion de l'argent, et lors de la fusion du cuivre 69 fois; à 1200° cette intensité deviendrait 147 fois plus forte, à 1500°, dans cette hypothèse, près de 29,000 fois, et à 2000°, limite des observations avec le charbon polaire positif d'une pile, comme on le verra dans le paragraphe suivant, 191 millions de fois; mais ces deux dernières indications supposent que la loi d'accroissement de l'intensité lumineuse reste la même au delà de 1200°, ce qui n'est pas prouvé.

§ IV. — Intensité de la lumière émise par les corps incandescents placés dans les sources calorifiques les plus vives.

Il était intéressant d'étudier quelle était l'intensité de la lumière émise par les corps incandescents placés dans les sources calorifiques les plus vives, en s'attachant aux rayons d'une réfrangibilité constante, afin de comparer les effets produits à ceux qui ont lieu à des températures plus basses et pouvant être mesurés par les moyens indiqués précédemment. D'après ce qui a été dit plus haut, en se servant du photomètre et en opérant avec les rayons rouges, la comparaison des effets est très-simple.

Si l'on pouvait toujours observer simultanément avec les différents corps que l'on étudie, une même substance comme le platine, la comparaison entre les effets obtenus serait facile; on le peut aisément jusqu'au point de fusion de ce métal, mais au delà cela n'est plus possible. On a bien vu que jusqu'à 1300° environ le platine, la chaux, la magnésie, le charbon avaient sensiblement le même pouvoir d'irradiation. En est-il de même à des températures plus élevées? C'est ce que l'on ne peut affirmer ; mais, en supposant que cette égalité subsiste, on peut avoir une idée des plus hautes températures que l'on puisse produire, et l'on va voir que ces températures ne sont pas aussi élevées qu'on l'avait supposé.

Je rappellerai d'abord les résultats d'une expérience faite avec une lame de platine et un fragment de magnésie placés au milieu du fourneau représenté *fig.* 4, et dans laquelle la magnésie touchait à un morceau de cuivre rouge. Jusqu'à 1100° environ, les intensités lumineuses des rayons rouges émis par le platine et la magnésie ont été sensiblement égales, et au delà de cette limite

on a trouvé que la magnésie était moins lumineuse que le platine ; vers 1260° on a eu les résultats suivants :

	Log. I.	Intensité lumineuse I.
Magnésie	1,5206596	33,164
Platine.	1,8210784	66,233

Mais, en examinant ensuite le fragment de magnésie, on vit qu'elle s'était imbibée de cuivre et d'oxyde de cuivre fondu, par conséquent le pouvoir d'irradiation $\frac{33,164}{66,233} = 0,5$ doit se rapporter au cuivre ou à l'oxyde en fusion, et non à la magnésie, qui donne, quand elle est pure, à peu près la même intensité lumineuse que le platine.

Afin de comparer entre elles les intensités lumineuses sans que l'on ait besoin à chaque expérience de déterminer, à l'aide du fourneau et du couple thermo-électrique, la température correspondante à différentes intensités, j'ai reconnu qu'en visant avec la lunette droite du photomètre la partie la plus lumineuse de la flamme d'une lampe Carcel, montée toujours de la même manière, et la partie la plus lumineuse de la flamme d'une bougie, on avait dans chaque expérience, et à différents jours d'intervalle, des nombres très-peu différents, et que l'on pouvait régler les déterminations faites avec la lampe placée de côté, pour qu'elles se rapportassent toutes à la même unité. Ainsi, lorsque l'on a pour les déviations du photomètre avec les verres rouges dont on s'est servi :

	Angle mesuré sur le photomètre.	Log. I.
Partie la plus lumineuse de la flamme de la lampe.	8°25′	1,6690902
Partie la plus lumineuse de la flamme de la bougie	10°20′	1,4524782

on peut sensiblement appliquer la formule donnée plus haut, et dans ces températures élevées on a

$$T = 925,21 + 199,44 \log. (I).$$

Il faut se rappeler, en effet, que l'on a démontré antérieurement que l'intensité de la lumière émise dans la flamme d'un bec de gaz était la même à égalité de température que dans un tube échauffé au milieu d'un fourneau.

Il est facile, au moyen des prismes de Nicol placés dans la lu-

nette latérale du photomètre, de ramener les intensités lumineuses à donner les valeurs précédentes pour se placer dans les mêmes conditions expérimentales.

Les appareils étant ainsi réglés, on a disposé un chalumeau à gaz hydrogène et oxygène, puis l'on s'est arrangé pour introduire dans la flamme l'extrémité d'une tige en platine qui n'a pas tardé à entrer en fusion; on a visé à ce moment, au moyen du photomètre, sur la boule de platine en fusion, pour évaluer l'intensité lumineuse. On a opéré de même avec le fer, le cuivre rouge, puis on a placé des tiges de chaux, de magnésie, d'alumine, et l'on a eu les résultats suivants :

.	MATIÈRES placées dans la flamme du chalumeau à gaz.	PHOTOMÈTRE. Angle observé.	PHOTOMÈTRE. Logarithme de I.	PHOTOMÈTRE. Intensité lumineuse I.	TEMPÉRATURE calculée.
Expérience du 7 janvier 1862. RAYONS ROUGES.	Chaux vive. D'abord	1° 50'	2,9485100	977,04	1513,3
	Chaux vive. Puis	1.40	3,0726702	1182,15	1536,0
	Platine. Avant la fusion	3	2,5623996	....	1436,2
	Platine. Fond et bouillonne	4.15	2,8121034	....	1486,1
	Platine. Maximum observé	2	2,9143616	....	1506,4
	Fer. Effets lumin. tr.-variables d'intensité. Tige en fusion.	4.10	2,2774334		»
	Fer. Effets lumin. tr.-variables d'intensité. Excès d'oxygène	2.10	»	»	»
	Fer. Effets lumin. tr.-variables d'intensité. Excès d'hydrog.	5. 0	»	»	»
	Fer. Gouttes d'oxyde.	3. 0	2,5623996		»
	Cuivre rouge. Inégalités très-grandes, lors de la fusion (intensité moyenne)	19.55	0,9353754	8,62	»
	Quartz fondant	6.50	1,8490402	70,64	»
	Alumine fondant et cristallisant	4.40	2,1792922	151,11	»
	Magnésie	1.10	3,3824118	2412,20	1599,8

Les expériences suivantes ont été faites plusieurs mois après

les précédentes avec un second photomètre analogue au premier, mais en prenant pour unité une autre intensité lumineuse; on a d'abord visé directement sur les portions les plus lumineuses d'une lampe modérateur et sur celles d'une bougie; on a eu :

	Angle mesuré sur le photomètre.	Log. I.
Partie la plus lumineuse de la flamme de la lampe (rayons rouges).	7°54′	1,7237450
Partie la plus lumineuse de la flamme de la bougie stéarique	9°47′	1,5394964

En appliquant la même formule que précédemment, mais en tenant compte de ces nouvelles intensités, on a pour la température l'expression

$$T = 911,07 + 199,44 \log. I.$$

On a eu ensuite :

	MATIÈRES placées dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène.	PHOTOMÈTRE. Angle observé.	Logarithme de I.	Intensité lumineuse I.	TEMPÉRATURE calculée.
Expériences de décembre 1862	Chaux vive.	1° 18′	3,2884330	»	1566,9
	Magnésie.	1.19	3,2766000	»	1564,6
	Platine.	2.22	2,7682170	»	1463,2
	Palladium.	4.12	2,2705248	»	1364,0
	Fer. . . . { Effets lumineux variables; éclats par instants. }	5.44	2,0008810	»	»
	Cuivre. . { Effets lumineux très-variables d'intensité. }	25.32	0,7309726	»	»

On voit, d'après ces résultats, que les corps transparents ou en fusion ne sont pas doués du même pouvoir d'irradiation; car

la fusion du quartz et celle de l'alumine, quoique n'ayant pas lieu à la même température, ne sont pas bien éloignées l'une de l'autre, et cependant les intensités lumineuses de ces matières sont plus faibles que celle observée lors de la fusion du fer.

La première expérience a donné pour la chaux et la magnésie des intensités lumineuses différentes; mais il est probable que le résultat tient aux inégalités de température présentées par le jet de flamme au commencement et à la fin de l'opération, car dans la seconde série d'expériences, la lumière émise a été trouvée sensiblement égale avec les deux substances, ainsi qu'on l'avait déjà observé dans le § II.

En ce qui concerne la fusion des métaux, et en particulier du platine, la température à laquelle a lieu la fusion ne peut être déterminée avec exactitude; car, outre la difficulté d'évaluer exactement l'intensité de la lumière émise par une masse métallique aussi petite, il est possible qu'au moment de la fusion le pouvoir d'irradiation ne reste pas le même que lorsque le corps est solide; si elle devient plus petite, on est alors conduit à une température un peu trop basse. On peut néanmoins, en admettant que la loi d'émission lumineuse reste la même comme entre 1000° et 1200, indiquer les limites probables entre lesquelles les points de fusion ont lieu. La première expérience donne 1486° pour la température de la petite sphère de platine en fusion; la seconde, 1463°; le maximum d'effet observé donne 1506°, et le minimum, avant la fusion, 1436°. Il est donc probable que la température de fusion du platine est inférieure à 1500° et comprise entre 1460° et 1480°. Celle du palladium aurait lieu environ 100° au-dessous et serait comprise probablement entre 1360° et 1380°, et en tout cas serait inférieure à 1500°.

A l'égard du fer, il est difficile de préciser, par cette méthode, la température de son point de fusion, car ce métal se couvre d'oxyde ayant un pouvoir d'irradiation moindre que le métal lui-même. En tenant compte de cette circonstance, le point de fusion du fer pourrait être indiqué comme peu éloigné de celui du palladium et compris entre 1350° et 1400°. La fonte de fer, suivant sa composition, a un point de fusion moins élevé.

Avec le cuivre rouge, l'intensité lumineuse à l'instant de la fusion est assez faible; mais, comme ce métal se recouvre d'une couche d'oxyde et que l'oxyde de cuivre vers 1200° a un pouvoir

d'irradiation moindre que celui du platine, on ne peut en conclure la température d'après la formule indiquée plus haut. Si l'on admet cependant que, dans ces expériences, le cuivre fondu se comporte comme dans les expériences citées plus haut, il faudrait multiplier la valeur des intensités lumineuses des deux tableaux précédents par 2 (voir p. 653), pour avoir un nombre capable de donner l'intensité lumineuse du platine à l'instant de la fusion du cuivre. On serait alors conduit à une température qui, d'après la première expérience, serait de 1168° et d'après la seconde de 1117°; c'est-à-dire s'éloignant peu de 1157°, trouvée directement à l'aide du pyromètre thermo-électrique.

Si les températures de fusion des métaux sont difficiles à préciser, il est encore plus difficile d'indiquer exactement la limite de température à laquelle on peut arriver avec la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène ; les corps qui sont plongés dans la flamme, ou même les points très-lumineux que présentent les cylindres en chaux ou en magnésie sur lesquels on projette le jet gazeux enflammé, s'échauffent, mais rayonnent, et ce n'est que quand ils reçoivent autant qu'ils perdent dans un temps donné que l'équilibre est établi ; or, sous ce rapport, il faudrait donc un corps opaque d'une ténuité extrême pour se rapprocher de la limite de température à laquelle on peut parvenir. Les résultats précédents, obtenus avec la chaux et la magnésie, donnent entre 1560° et 1600° pour cette limite, qui doit donc être trop faible ; cependant cette valeur représente la température que prennent ces corps au moment où on les observe.

Lorsqu'on fait usage de la méthode photométrique employée ici pour l'évaluation des hautes températures, il faut admettre que la loi d'émission lumineuse, qui s'applique jusqu'à 1300°, se continue au delà ; c'est là le côté hypothétique de cette méthode optique ; du reste, quel que soit l'effet physique que l'on emploie pour comparer les températures, on est toujours obligé de faire une supposition du même genre, et même en se servant de la dilatation d'un gaz, on peut se demander si la loi de dilatation reste toujours uniforme à ces températures si élevées.

Une autre difficulté se présente dans les évaluations photométriques : déjà, dans les expériences précédentes, on arrivait à des angles de 2° et de 1°, et comme à peine si l'on peut faire la détermination de ces quantités, à cinq minutes près, l'erreur ex-

périmentale que l'on commet devient de plus en plus forte. En supposant un angle de 1° déterminé sur le cercle du photomètre, une différence de 5 minutes correspond à une différence de 15° à 16° de température centigrade. Pour l'atténuer, en observant des intensités lumineuses plus vives encore, il faut employer des écrans colorés absorbant la lumière, et comme on opère toujours avec des rayons d'une réfrangibilité déterminée, on ne craint pas de changer d'une manière sensible la nuance des rayons transmis. On s'est servi, pour les rayons rouges, de verres colorés par le protoxyde de cuivre et de la réunion d'un verre bleu de cobalt et d'un verre rouge, réunion, comme on le sait, qui ne laisse passer que le rouge extrême du spectre. La quantité de lumière qui passait au travers du premier verre rouge était les 0,0724 de la lumière rouge incidente; celle qui traversait l'écran mixte bleu et rouge était les 0,00706. D'un autre côté, à l'aide des prismes de Nicol ordinaires placés dans la lunette latérale du photomètre représenté fig. 5, on peut changer l'intensité de la lumière type suivant des rapports déterminés, et étendre encore les limites des effets à comparer.

La source physique qui a paru donner à un corps lumineux l'irradiation la plus vive est l'arc voltaïque produit entre deux cônes de charbon placés dans l'air. On a déjà vu que le charbon de cornue, placé dans la flamme du chalumeau à gaz oxygène et hydrogène, donne, par incandescence, une lumière peu différente de celle d'un fragment de magnésie et de chaux; la seule différence que l'on observe serait plutôt en faveur du charbon dans un jet de gaz où l'oxygène est légèrement en excès. Le charbon se comportant comme un corps opaque incandescent, on a dirigé la lunette du photomètre sur les charbons polaires d'un arc voltaïque formé dans l'air au moyen d'une pile de 80 éléments de Bunsen de moyenne dimension. L'éclat du charbon positif l'emportait beaucoup sur celui du charbon négatif. Après avoir placé un bord de l'image là où la lumière était la plus vive, au milieu du champ de la lunette, on a comparé la lumière rouge qui traversait le système à celle de la lumière de la source de comparaison vue de côté; on a eu en moyenne :

1° Avec le verre rouge (déviation mesurée dans le photomètre) . . . . 0°.43'

2° Avec le système des verres rouges et bleus. . . . . 1°,53'

Si l'on cherche quel serait l'angle qui serait observé si l'on n'interposait aucun verre coloré, on trouve, d'après les pouvoirs absorbants de ces écrans, 11' 35" et 9' 40", c'est-à-dire un nombre qui, en moyenne, est un peu supérieur à 10 minutes de degrés. Comme les premières observations peuvent être en erreur de 5 minutes, le dernier nombre peut l'être de $\frac{1}{10}$ de sa valeur totale, qui correspond à une différence de 18° ou 20° de température centigrade.

En admettant pour limite cet angle de 10 minutes, et en supposant que la loi d'émission de la lumière restât la même que celle du platine ou de la magnésie, on trouve que la température observée serait de 1970°, et en tout cas ne dépasserait pas 2000°.

Il est possible que l'étincelle électrique donne une température plus élevée; mais je n'ai pu, quant à présent, la déterminer au moyen des effets d'irradiation, vu son peu de durée. En tout cas, on ne doit pas s'éloigner beaucoup de la limite précédente.

Déjà, comme on l'a vu précédemment, page 602, les observations faites à l'aide des chaleurs spécifiques avaient permis de conclure que les hautes températures n'étaient pas aussi élevées qu'on l'avait cru, sans indiquer jusqu'à quelles limites elles pourraient s'élever. Les precherches photométriques actuelles viennent confirmer cette manière de voir en donnant un moyen d'indiquer les limites où l'on peut atteindre à l'aide des moyens physiques ou chimiques les plus puissants.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

En résumé, ce travail met en évidence les résultats suivants :

1° Le pyromètre à air, à enveloppe en porcelaine, peut servir à déterminer exactement les températures élevées jusqu'aux limites où cette enveloppe ne se déforme pas, et comme on l'a dit dans le § 1, les observations faites en changeant la pression du gaz, c'est-à-dire au moyen de la méthode voluménométrique, sont indépendantes de la quantité totale de gaz que renferme l'appareil à un moment donné et n'exigent que la per-

manence de la même masse de gaz dans le réservoir pendant le temps des deux observations successives de pression.

Du reste, d'après la méthode suivie dans ce travail, on n'a observé aucun effet sensible d'endosmose d'air ou d'azote au travers des parois des réservoirs suffisamment vernissés, pouvant influencer les déterminations de température.

2° Le pyromètre thermo-électrique formé avec un couple platine-palladium est un des plus convenables pour l'évaluation et la comparaison des hautes températures, l'intensité du courant thermo-électrique développé à mesure que la température s'élève, suivant une loi assez régulière, et ne présentant pas ces variations inégales que l'on observe en faisant usage d'autres métaux. Dans ce travail, p.629, se trouve une table donnant l'intensité du courant thermo-électrique pour des températures comprises entre 100° et 1250°, et même allant à 1400°, les températures étant données par le pyromètre à air. Cet appareil pourrait être utilisé dans les arts et dans un grand nombre de circonstances.

3° Les points de jonction des fils de platine et de palladium qui constituent le couple thermo-électrique étant placés dans un milieu dont la température peut être portée à des degrés plus ou moins élevés et qui reste constante pendant un certain temps, il est facile de suivre, avec un photomètre d'une disposition particulière, l'émission de la lumière due à l'incandescence de ces points de jonction qui constituent le couple, en même temps que l'on détermine l'intensité du courant électrique développé dans ces mêmes points, c'est-à-dire la température à laquelle l'incandescence a lieu. En plaçant également des corps à côté du couple thermo-électrique, on peut suivre concurremment l'intensité de la lumière émise par chacun d'eux.

4° L'intensité de la lumière d'une réfrangibilité déterminée (de la lumière rouge, par exemple), émise par un même corps opaque, tel que le platine, la chaux ou la magnésie, croît suivant les termes d'une formule exponentielle analogue à celle qui règle l'émission de la chaleur des corps échauffés placés au milieu d'une enceinte vide dont les parois sont à une température plus basse. Cette conclusion pouvait être prévue en raison de l'origine commune de la cause des effets calorifiques et lumineux.

La constante qui, dans cette formule, est analogue à la cons-

tante a de la formule du refroidissement, augmente avec la réfrangibilité, et est telle qu'entre les rayons rouges et bleus le logarithme de a serait à peu près en raison inverse des longueurs d'onde des rayons émis.

5° Si l'on suppose que la loi d'émission de la lumière reste la même pour un même corps et pour des rayons d'une même réfrangibilité à mesure que la température s'élève au-dessus de la limite jusqu'à laquelle on l'a vérifiée, on peut déduire la température du corps de l'indication donnée par le photomètre, et cela au delà des limites où les autres pyromètres ne peuvent plus être appliqués. On est ainsi conduit à une méthode pyrométrique optique qui pourrait être facilement utilisée.

6° Le tableau suivant donne quelques-unes des températures obtenues dans ce travail, et qui correspondent à quelques points fixes placés entre les températures les plus basses et celles les plus hautes que l'on puisse produire :

CHANGEMENTS D'ÉTAT.	INTENSITÉ du courant thermo-électrique ou degré pyrométrique du couple thermo-électrique platine-palladium.	TEMPÉRATURE centigrade d'après le thermomètre à air.
Ébullition du protoxyde d'azote..........	—70,7	—87°,9
Fusion du mercure....................	—31,7	—38 ,5
Glace fondante.....................	0	0
Ébullition de l'eau à 0,760 de pression...	100,0	100
Fusion de l'étain du commerce..........	237,5 ?	217,6 ?
— du bismuth..................	287,0 ?	257,5 ?
— du plomb..................	351,25 ?	310,8 ?
— du cadmium..................	356,50 ?	315,8 ?
Ébullition du mercure à 0m,760 de pression.	401,5	358,5
Fusion du zinc du commerce............	455,0 ?	395,6 ?
Ébullition du soufre..................	535,3	448,2
Fusion de l'antimoine................	778,1 ?	581,8 ?
Ébullition du cadmium...............	1060,0 ?	720,0 ?
— du zinc..................	1445,0 ?	891,0 ?
Fusion de l'argent.................	1504,2	916,0
— de l'or....................	1805,1	1037,0
— du cuivre rouge..............	2120,0	1157,0
— du fer (non carburé)............	»	entre 1350 et 1400° *
— du palladium................	»	entre 1360 et 1380 *
— du platine..................	»	entre 1460 et 1480 *
Arc voltaïque positif; charbon polaire..... (Température la plus haute obtenue dans ce travail)	»	limite supérieure 2000° *

Les nombres de la deuxième colonne, comme on l'a dit, se rapportent au platine et au palladium constituant le couple thermo-électrique dont j'ai fait usage; en employant d'autres fils métalliques on aurait probablement d'autres valeurs; mais, à l'aide des points fixes que j'ai donnés, il serait possible pour chaque pyromètre thermo-électrique de faire une table des intensités correspondantes aux températures.

Les valeurs marquées d'un point d'interrogation se rapportent aux métaux ordinaires du commerce et probablement impurs. Les valeurs à côté desquelles est marquée une étoile, n'ont pu être obtenues par le pyromètre thermo-électrique et ont été trouvées au moyen de la méthode optique dont il est question dans le § 4 et dans la cinquième conclusion.

PROCÈS-VERBAL DES EXPÉRIENCES

FAITES

au Conservatoire impérial des Arts et Métiers

SUR UNE MACHINE DE M. LESCHOT

POUR PERFORER LES PIERRES DURES.

M. Leschot, ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale des arts et manufactures, a eu l'heureuse idée d'appliquer au perforage des pierres dures, à la place des barres à mine ordinaires, des outils rotatifs agissant à la manière d'une fraise annulaire, dans laquelle on aurait remplacé la denture d'acier par une denture de diamant. A cet effet, il sertit, dans une bague cylindrique, quelques diamants noirs faisant saillie, les uns au dedans ou au dehors, les autres un peu en avant du bord antérieur, et il imprime à la bague ainsi disposée un mouvement de rotation sur elle-même, en exerçant une pression plus ou moins considérable contre la pierre à perforer. Bien que le diamant noir ait été déjà appliqué comme outil de tour pour le travail des granits et autres pierres dures destinées à la décoration, l'application que vient d'en faire M. Leschot à la formation des trous de mine présente un véritable caractère de nouveauté. Interprétée par un mécanicien habile, M. Pihet fils, la première disposition de l'inventeur est devenue plus portative; sous cette forme nouvelle, elle se cramponne facilement au toit et au mur d'une galerie de mine; et, par un simple mouvement de bascule, l'appareil se trouve transformé en une sorte de brouette, mobile sur deux roues, et dont il est facile à un seul homme d'effectuer le transport à la distance convenable, lorsque, les trous étant terminés et chargés, on procède, à la manière ordinaire, à l'éclatement à la poudre.

Dès l'apparition de cette intéressante machine, nous avons eu l'occasion de l'expérimenter avec un dynamomètre de rotation, à manivelle, sur du granit de dureté moyenne.

Au moyen du travail de deux hommes, la bague pénétrait dans la pierre à une profondeur de 25 centimètres par heure. Le noyau cylindrique conservait au centre, d'après les dimensions de cette bague, un diamètre moyen de $0^m,031$; le diamètre de la cuvette cylindrique formée était de $0^m,043$, et par conséquent la partie pulvérisée par l'action du diamant représentait un fourreau cylindrique dont l'épaisseur était de $0^m,012$.

Cinq diagrammes ont été obtenus successivement; et, pour faire ressortir les conditions de régularité du fonctionnement, nous donnons dans le tableau suivant tous les chiffres observés; ils se rapprochent tellement les uns des autres, qu'on a peine à croire qu'ils se rapportent à la perforation d'une pierre aussi peu homogène que le granit. Cette régularité est d'ailleurs bien mieux accusée encore en ce que le tracé du dynamomètre est presque exactement une ligne droite.

Tableau des expériences faites le 15 *avril* 1863, *sur la machine à perforer le granit, de* M. LESCHOT.

(On a employé dans ces expériences la manivelle dynamométrique n° 2 du Conservatoire, avec lame fléchissant de 0,884 millimètre pour 1 kilog. d'effort. Rayon de la manivelle $0^m,35$.)

NUMÉROS des diagrammes.	NOMBRE DE TOURS par minute.	ORDONNÉES moyennes des diagrammes.	EFFORT correspondant.	TRAVAIL moteur par seconde.
		mill.	k.	km.
1	30	16.25	14.365	15.788
2	30	17.34	15.330	16.849
3	30	17.00	15.028	16.517
4	30	17.71	15.656	17.207
5	30	18.50	16.354	17.974
Moyenne. .	30	17.36	15.345	17.067

On voit, par ces chiffres, que le travail dépensé est déjà trop considérable pour que deux hommes puissent y suffire d'une

manière continue. Il semblerait résulter de l'augmentation graduelle de l'effort, que, malgré le nettoyage continuel qu'un courant d'eau opère à mesure que la pulvérisation se fait, la résistance croît un peu quand la profondeur à laquelle on opère est plus grande.

Au point de vue du travail dépensé par kilogramme de matière pulvérisée, le résultat est d'ailleurs excellent : en une heure, le volume de granit réduit en poudre est exprimé par

$$\pi(R^2 - r^2)L = 3.1416 \times 0,000\,222 \times 0.25 = 0.000\,175 \text{ mètre cube,}$$

et à raison de 2 500 kilogrammes par mètre cube, le poids de cette matière est de $2\,500 \times 0,000\,175 = 0,436$ kilogrammes.

Le travail dépensé correspondant étant de $3600 \times 17\,067$ kilogrammètres $= 61\,441$ kilogrammètres, on voit qu'il faut dépenser 140 000 kilogrammètres par kilogramme de matière pulvérisée. Il convient d'ailleurs d'observer que, par la disposition de la bague, on ne doit désagréger, avec la machine de M. Leschot, que le tiers environ de la quantité de matière qui répond à la cavité terminée. Le noyau se retire, après l'opération faite, en un cylindre très-régulier, qui ne se brise pendant le travail que si la matière est très-friable ou si elle présente quelques fissures.

Fait par l'ingénieur sous-directeur du Conservatoire impérial des arts et métiers.

Paris, le 14 avril 1864.

H. TRESCA.

Vu : Le directeur, Général MORIN.

Note sur l'application de la machine LESCHOT *au percement des galeries souterraines.*

Depuis plusieurs années déjà, certains travaux de percement de tunnels s'exécutent par machines; le tunnel des Alpes, celui des Apennins, quelques autres encore en Espagne, présentent des exemples remarquables des différents modes employés pour

remplacer avec avantage la confection des trous de mine par le choc répété d'une barre ou fleuret au fond du trou.

Pour peu que la pierre soit dure, les fers s'émoussent promptement; il faut fréquemment les remplacer, et dans certains rochers on ne saurait quelquefois obtenir un avancement de 7 à 10 centimètres par heure.

L'emploi des machines pour les travaux souterrains a, en quelque sorte, reçu sa consécration définitive au mont Cenis, où douze machines perforatrices travaillent simultanément, sous l'action de l'air comprimé, en donnant environ deux cents coups de barre par minute.

Il résulte d'un article publié par M. Samuel Firth dans l'excellent Journal de la Société des arts[1] de Londres, sur *l'application de la mécanique à l'abatage de la houille,* que depuis longtemps déjà on a tenté de se servir pour cette opération d'outils mécaniques.

« Je ne pense pas, dit l'auteur de cette note, que l'introduction des machines dans les houillères, pour l'abatage, puisse diminuer le nombre des bras actuellement employés; mais je crois qu'elle aura pour résultat d'accroître la consommation. L'accroissement actuel peut s'évaluer à deux millions de tonnes par an, et pour y suffire le nombre des travailleurs devrait en même temps s'augmenter de 3500 hommes : les machines pourraient, sans aucun déplacement de main-d'œuvre, être appelées à produire cet excédant. A West Ardley Colliery, les essais ont survécu à la période expérimentale. La machine à vapeur qui fournit le travail moteur a un cylindre de $0^m,515$ de diamètre, et la machine à air qu'elle alimente un cylindre de $0^m,462$ de diamètre seulement. L'air est conduit jusqu'au fond des puits par des tuyaux en fer, et un prolongement en caoutchouc relie cette première canalisation à la machine-outil. Celle-ci est mobile sur des rails et elle avance, après chaque coup de pic, de la quantité convenable.

Le travail se fait généralement en trois passes; le pic est remplacé après chacune de ces passes par un fer plus long, de manière à atteindre la profondeur voulue. Le premier travail a une profondeur de $0^m,41$; le second et le troisième respectivement une profondeur de $0^m,30$ et $0^m,18$; en tout $0^m,90$ environ.

1. *The journal of the Society of Arts*, 1863, page 697.

Il résulte des indications données par M. Firth que, d'après les rendements habituels, le travail de la machine, desservie par un seul ouvrier et deux aides, équivaut à celui de trente hommes opérant à la manière ordinaire. Les entailles sont d'ailleurs réduites à une épaisseur de $0^m,065$ au lieu de $0^m,280$, ce qui se traduit par une diminution notable dans la production du menu.

« Une autre machine, fondée sur un principe différent, a été également appliquée dans la même houillère. Son action est directement produite par un mouvement de va-et-vient, et ce mode paraît plus favorable que celui de la machine à pic. »

Sans nous arrêter davantage aux applications des machines aux travaux d'exploitation proprement dits, nous trouvons, dans le récent ouvrage de M. Devillez [1], des indications très-intéressantes sur le sujet qui nous occupe. A la suite de la description de diverses machines à fleuret, agissant d'une manière analogue à celle dont M. Sommeiller fait usage au mont Cenis, et de celles qui agissent à la manière des machines à raboter ou à mortaiser, M. Devillez s'occupe d'un nouveau perforateur rotatif, inventé par M. Lisbet, ingénieur des mines de Bully-Grenay, dans le Pas-de-Calais. « Cet appareil n'est autre chose qu'un foret ordinaire à percer la fonte; mais il diffère de celui-ci par quelques détails qui constituent tout le mérite de l'invention. Il est formé d'une lame d'acier tordue sur elle-même comme certains tire-bouchons, de façon que les arêtes de la lame se trouvent contournées en hélice et que le foret constitue une sorte de vis d'Archimède pouvant, en tournant dans le sens convenable, servir à retirer du trou les débris de roches détachés par le tranchant de l'outil. »

M. Devillez a consigné dans son livre les résultats de plusieurs essais favorables, exécutés avec cette machine, qui ne peut convenir toutefois que pour des terrains peu résistants, tels que des schistes.

La machine de M. Leschot, dont l'outil à tranchant de diamant est aussi rotatif, convient au contraire pour perforer les roches les plus dures, et l'importance de cette application

1. *Des travaux de percement du tunnel sous les Alpes et de l'emploi des machines dans l'intérieur des mines*, par M. Devillez, professeur de construction civile et de mécanique appliquée à l'École provinciale des mines du Hainaut. — Liége, 1863.

nouvelle nous engage à donner une description complète de cette machine, représentée dans son ensemble et dans ses détails par notre planche XX.

La figure 1 représente la coupe longitudinale d'une galerie de mine dans laquelle le perforateur est prêt à fonctionner.

La figure 2 est une élévation de la machine suivant un plan vertical perpendiculaire au plan de la coupe.

La figure 3 montre la machine rabattue dans la position qu'il convient de lui donner pour la rouler.

La figure 4 reproduit les détails du mécanisme à une échelle plus grande.

La figure 5 fait voir la disposition des organes qui servent à modifier la position de l'outil perforateur.

Enfin, la figure 6 donne la disposition de la bague perforatrice, garnie de ses dents de diamant.

Décrivons d'abord l'organe principal, l'outil.

C'est un petit tronçon de tube en fer A (*fig.* 6), de 5 à 6 millimètres d'épaisseur, d'une longueur égale à son diamètre; sur l'une de ses tranches sont incrustés, à la distance de 7 à 8 millimètres les uns des autres, des diamants noirs *aa*, auxquels on laisse une saillie de $0^m,0005$ au maximum.

La tranche opposée porte un ajustement à baïonnette *a'*.

Par cet ajustement, on fixe cette couronne à l'extrémité d'un tube comme l'on fait d'une baïonnette au canon d'un fusil.

Si on vient agir sur le tube, armé de cette couronne, en le faisant tourner sur une surface d'une dureté moindre, de manière à mettre les diamants noirs en contact avec cette surface, on l'entamera en l'usant d'une quantité d'autant plus grande que la pression sera plus forte.

En prolongeant ce travail, on pourra donner à la rainure annulaire une très-grande profondeur et extraire au centre du tube un noyau cylindrique facile à détacher par sa base.

Pendant l'opération, on aura eu le soin d'injecter un courant d'eau dans l'axe du tube perforateur; ce courant enlève les détritus pulvérulents, et facilite le frottement du fer en cas de contact.

Ce travail d'usé par frottement, qui paraît sans doute long à obtenir, se fait relativement très-vite; car, dans des granits, l'avancement peut être de 30 centimètres à l'heure en n'employant

que la manivelle, tandis qu'un mineur armé d'un burin d'acier n'en ferait que le quart. Dans des roches plus dures, l'avantage est encore plus remarquable.

Le prix de l'outil n'est pas un obstacle à son emploi, comme on pourrait le penser ; le diamant noir, opaque, qui en compose la partie principale, est employé ordinairement à l'état de poudre pour le polissage des diamants transparents.

Dans la perforation des roches, il s'use peu ; et, quand il est hors de service, on le retire de l'alvéole dans laquelle on l'avait serti, et il peut rentrer dans le commerce sans perdre autrement de sa valeur qu'en proportion de la diminution de son poids.

Une couronne pour des trous de 36 millimètres de diamètre coûte de 100 à 130 fr., et sert très-longtemps avant d'être hors de service.

La machine que nous allons décrire est disposée pour percer les trous de mines destinés à former soit la galerie d'avancement d'un tunnel, soit une galerie de mine de 2 mètres environ de hauteur.

Elle se compose d'abord d'un bâti principal, formé de deux moises en fer plat, à bords nervés BB, rabotées sur la partie plate et garnies toutes deux de crémaillères d'engrenage *bb*, qui règnent extérieurement à peu près sur toute la longueur de ces bâtis, et parallèlement à une fente ou coulisse *b'*.

Ces deux moises sont réunies à leur base par une entretoise, en forme de semelle, garnie de pointes *b''* ; au sommet par une autre entretoise C, traversée par une vis *c* dont l'écrou *c'* s'appuie sur la surface supérieure de cette entretoise.

Si l'on place cette espèce de colonne dans une galerie de mine, la semelle *e* se cramponnant au toit, et la vis serrant contre le mur, on imaginera facilement la rigidité du système et sa grande adhérence.

Entre ces deux moises BB, et suivant le sens de leur longueur, se meut un petit chariot composé de deux plaques de fer EE, ajustées de manière à glisser facilement le long des faces rabotées des deux moises.

Un boulon *e*, qui passe par les coulisses *b'*, traverse aussi ce chariot ; la tête et la rondelle de ce boulon sont taillées en forme de pignon d'engrenage et s'engagent dans les dents des crémaillères *bb*.

Des trous carrés, percés à chaque extrémité de ce boulon, permettent d'y introduire une manivelle c' par laquelle on lui donne un mouvement de rotation qui fait monter ou descendre le chariot.

Des cliquets $e'' e''$ maintiennent le chariot en place lorsqu'on le monte; pour le baisser, il faut les dégager d'avec les dents des crémaillères sur lesquelles ils s'appuient.

La disposition de ces platines fait qu'elles servent encore à totaliser la résistance des deux branches d'une même moise.

Comme accessoires, le grand bâti porte à sa base une paire de roues, et à sa partie supérieure une traverse c'', qui servent au transport de l'appareil après qu'on l'a ramené à la position à peu près horizontale. C'est dans ce chariot EE que s'ajuste l'appareil perforateur proprement dit.

C'est un bâti de fer plat FF portant vers le milieu de sa longueur une entretoise f percée d'un trou que traverse le boulon e.

Le tube perforateur G repose sur deux paires de coussinets ajustés dans ce bâti.

Ce tube est complétement lisse dans sa partie antérieure; l'autre partie est filetée d'un pas de vis dont la longueur est un peu plus grande que la profondeur du trou que l'on veut obtenir.

Un robinet à raccord g termine le tube; ce raccord chemine dans une rainure qui l'empêche de suivre la rotation du tube, tout en lui laissant prendre part à son mouvement d'avancement ou de recul.

C'est à la partie antérieure de ce tube que s'adapte la couronne A.

Vers le milieu de la partie lisse du tube est calée la roue d'engrenage g'.

Dans le coussinet postérieur repose l'écrou H dans lequel se visse le tube perforateur.

Cet écrou porte également une roue d'engrenage h que l'on peut désembrayer très-rapidement.

Un petit arbre I, placé parallèlement au tube perforateur et en dessous, porte un pignon à joues g'', qui glisse sur cet arbre en suivant une rainure pratiquée sur toute sa longueur.

Ce pignon engrène avec la roue g', qui, suivant qu'elle avance

ou recule avec le tube dont elle fait partie, entraîne le pignon en le faisant glisser sur son arbre à rainure.

Ce petit arbre I porte en avant un rochet *i* qui ne permet pas qu'on le fasse tourner à l'opposé du sens convenable, pour ne pas désembrayer la couronne.

A l'autre bout se trouve un pignon *h'* engrenant avec la roue *h* de l'écrou; puis une roue d'angle *h''*.

Une deuxième roue d'angle *h'''*, sur laquelle se fixe le volant-manivelle J, lui imprime son mouvement de rotation.

Les roues d'engrenage *g' g''*, qui font tourner le tube perforateur, et les roues *h h'*, qui donnent le mouvement à l'écrou, diffèrent légèrement de diamètre, de manière à engendrer un mouvement différentiel qui détermine l'avancement lent de l'outil dans la roche.

Lorsque le trou est amené à profondeur, et que l'on veut en retirer rapidement l'outil, on désembraye la roue *h*; l'écrou devient alors immobile, et le tube s'y visse en arrière avec la rapidité due à son pas.

L'inclinaison de la vis a été choisie de façon que le mouvement différentiel fait avancer l'outil, tandis que la suppression de ce mouvement le fait reculer sans qu'il soit nécessaire de changer le sens de la rotation.

Cette condition est très-importante; car, en tournant en sens inverse, on se serait exposé à détacher la couronne et à la loger dans le trou qu'elle a pratiqué.

On tourne en sens inverse seulement lorsque l'on veut gagner du temps pour approcher rapidement l'outil vers la paroi que l'on se propose de percer.

Le rochet *i*, à ce moment, peut être déclanché.

Les roues *h* et *h'*, commandant la rotation de l'écrou H, sont amovibles; elles sont remplacées par d'autres, selon qu'il est utile de faire varier la rapidité de l'avancement de l'outil en se conformant à la nature des roches à traverser.

A la partie antérieure du bâti FF se trouvent encore deux vis K K; elles sont parallèles à l'axe du tube perforateur, qui se trouve entre elles deux, et dans le même plan vertical.

Ces vis, terminées par des mordaches, contribuent puissamment à assujettir l'appareil en venant presser la paroi que l'on perfore.

L'injection de l'eau, pendant la marche de l'opération, se fait à travers le robinet *g*, soit qu'elle vienne d'un réservoir supérieur, soit qu'un enfant l'élève par une petite pompe puisant dans un seau.

Telle que nous venons de la décrire, cette machine présente les caractères suivants :

1° Elle peut percer ses trous à toute hauteur et dans toutes directions dans la limite que ses dimensions comportent.

2° Elle permet d'approcher ces trous aussi près que possible des parois de droite ou de gauche.

Cette faculté lui est donnée par la complète symétrie de ses organes, par rapport à un axe que l'on peut supposer passer par le milieu de la machine, suivant sa longueur.

3° Elle est facilement et complétement amovible; son poids a été réduit à son minimum par l'emploi presque exclusif de la fonte décarburée et du fer forgé.

Lorsque les trous sont percés, et que l'on veut éloigner la machine des chances d'accident que lui ferait courir l'explosion de la poudre destinée à faire éclater les trous, on fait rentrer le tube dans le bâti F F. On rabat ensuite ce bâti entre les deux moises B B, à peu près comme on ferait de la lame d'un couteau fermant; la machine prend alors l'aspect d'une poutre; aucune saillie d'axe ne la dépasse.

Le volant a été préalablement retiré, et dans cet état elle est prête à être roulée hors de la galerie, à la manière d'une brouette.

Déjà dix de ces machines ont été construites; elles sont à l'essai dans divers travaux d'excavation, en France et au dehors, et elles paraissent surtout réussir parfaitement dans les roches les plus dures, qu'elles attaquent avec une grande facilité.

H. T.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cᵉ, 30, rue Mazarine.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES

DANS LE QUATRIÈME VOLUME.

Paris. — Imprimerie P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30.

Fig. 15.



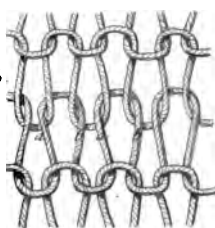


Fig. 6.



Fig. 14.

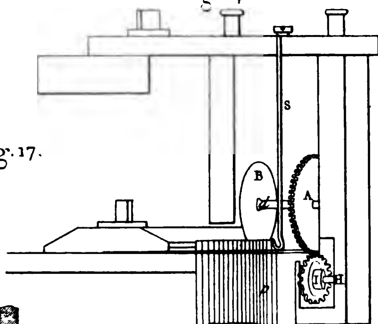




Fig. 17.

Fig. 15.

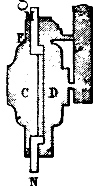


Fig. 19.

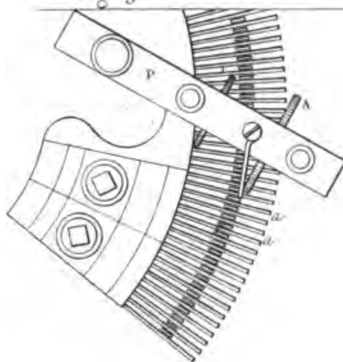


Fig. 23.



Fig. 21.

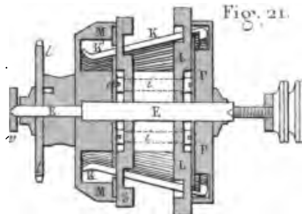


Fig. 22.

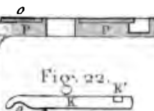
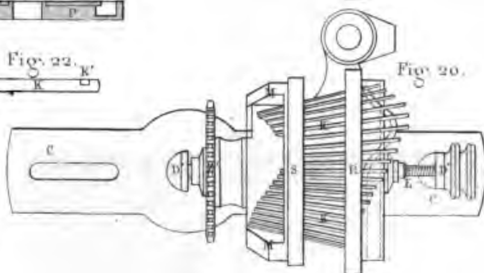


Fig. 20.



Bonnafoux del. sc.

Fig. 15.



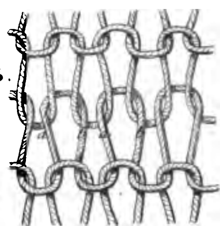
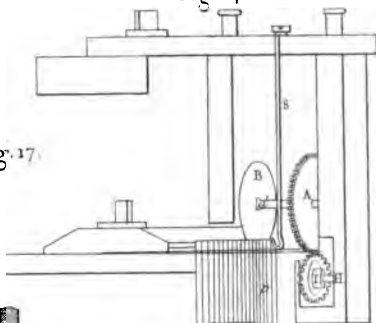


Fig. 6.



Fig. 14.



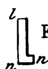


Fig. 17.

Fig. 15.

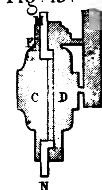


Fig. 19.

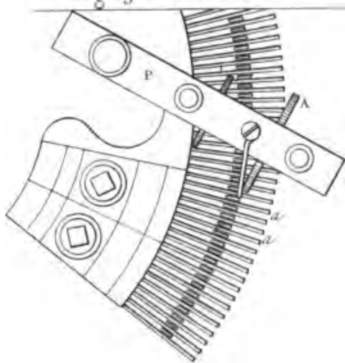


Fig. 23.

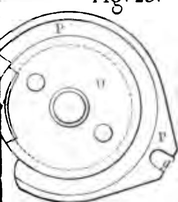


Fig. 21.

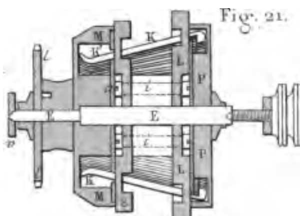


Fig. 22.

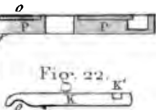
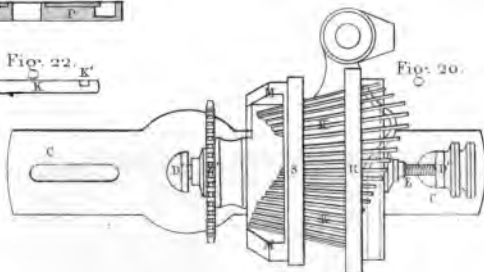
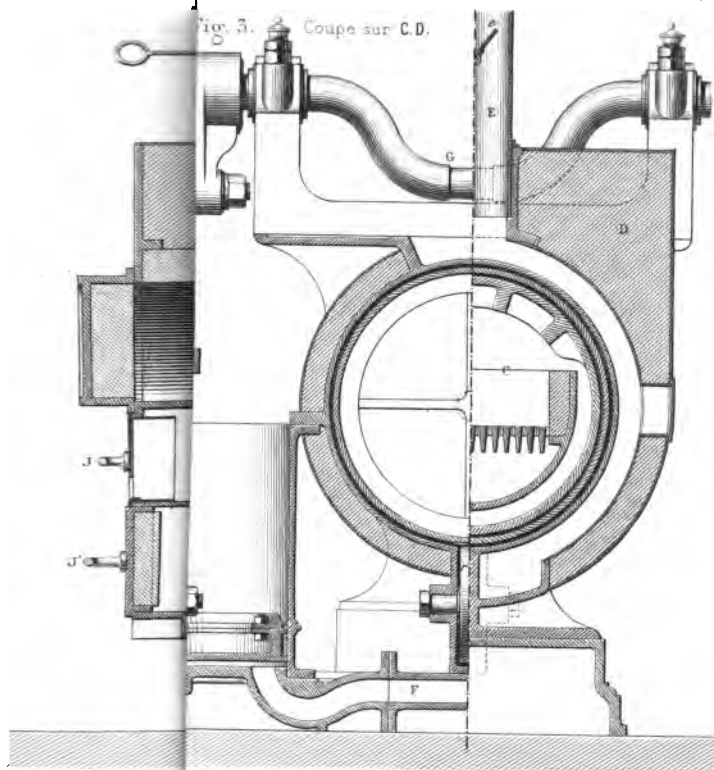


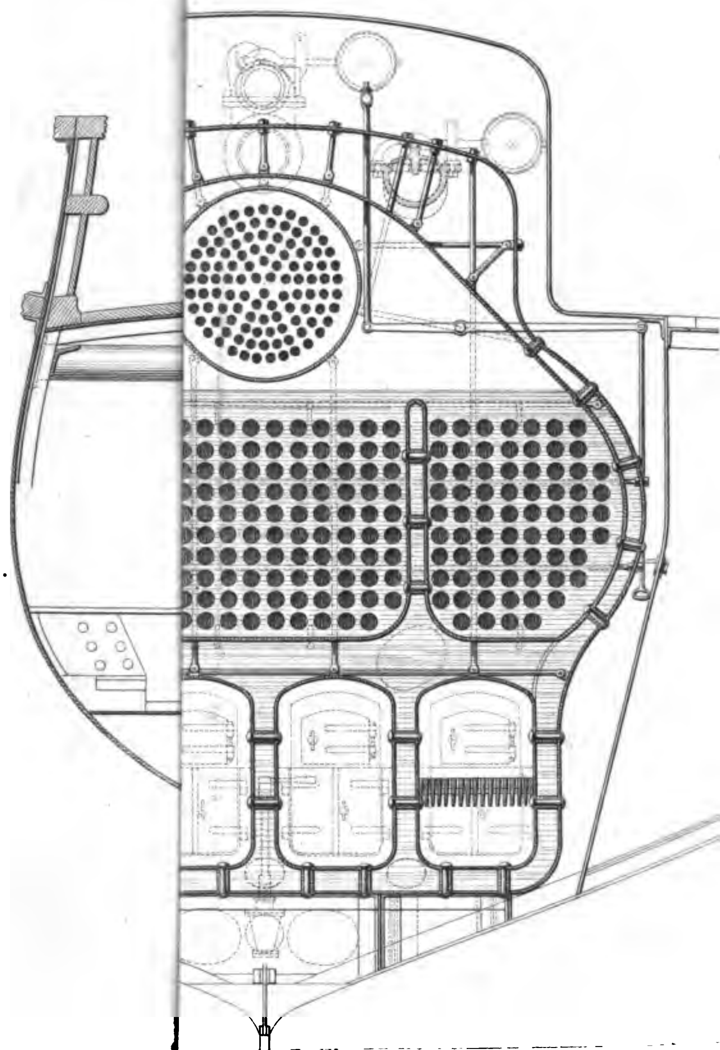
Fig. 20.



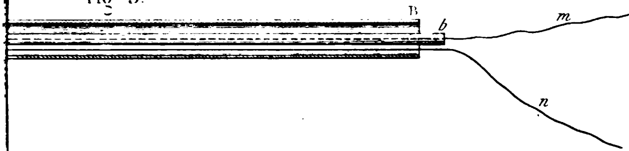
Bonnafoux del-sc

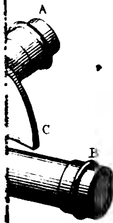


P = 1^at 47 p = 0^at 85 T = 149 97^km









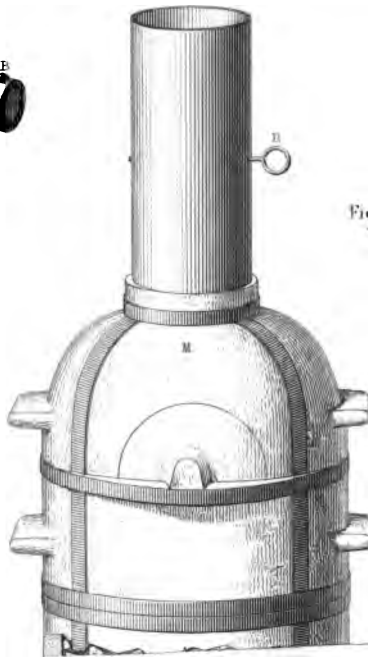


Fig. 4.

F

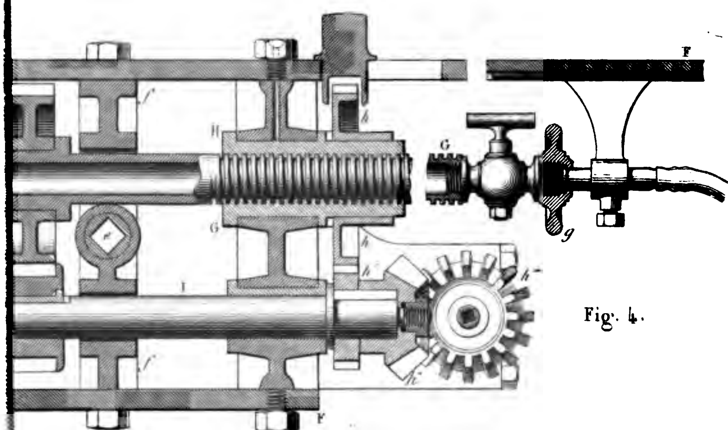
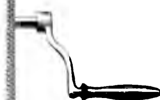


Fig. 4.



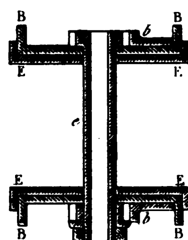
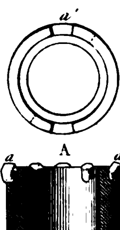
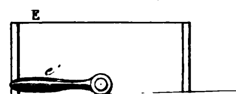


Fig. 5.





..6